А. М. ЁРКИН

Лампы с холодным катодом

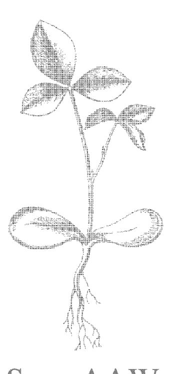
ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 645

А. М. ЁРКИН

ЛАМПЫ С ХОЛОДНЫМ КАТОДОМ



«ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1967

6Ф2.13
Е69

УДК 621.385.126

Ёркин А. М.

Е69 Лампы с холодным катодом. М., «Энергия», 1967.

80 с. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 645) 30 000 экз., 23 к.

Кратко излагаются процессы проводимости газов и эмиссии с холодного катода. Рассматриваются разновидности и ассортимент выпускаемых газоразрядных ламп с холодным катодом. Приводятся их основные характеристики, таблицы параметров, режимы включения и схемы на наиболее распростпаненных лампах. Книга рассчитана на подготовленных радиолюбителей.

3-4-5
331-67 **6Ф2.13**

Ёркин Александр Михайлович

Лампы с холодным катодом

Редактор *Р. Р. Васильев*
Техн. ред. *Л. И. Гаврилина*
Обложка художника *А. М. Кувшинникова*
Корректор *Р. К. Шилова*

Сдано в набор 19/XII—1966 г. Подписано к печати 29/V—1967 г. Т-06948
Формат 84×108[1]/[32]. Бумага типографская № 2. Усл. печ. л. 4,2
Уч.-изд. л. 5,62. Тираж 30.000 экз. Цена 23 коп. Заказ 1625

Издательство «Энергия». Москва, Ж-114, Шлюзовая наб., 10.

Владимирская типография Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР
Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-б

Глава первая

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЛАМПАХ С ХОЛОДНЫМ КАТОДОМ

Электропроводность ионизованных газов

Ионизация газа. Работа ламп с холодным катодом и многообразие их свойств связаны с прохождением электрического тока через ионизованные газы, наполняющие лампы. С рассмотрения процессов ионизации газа и механизма электропроводности его мы и начинаем знакомство с этими лампами.

Как известно, атом каждого химического элемента состоит из ядра и электронной оболочки. Если атом теряет один или несколько электронов, то он обращается в положительно заряженный атом, или положительный ион. Если же в оболочку нейтрального атома внедряются дополнительные электроны, образуется отрицательно заряженный атом, или отрицательный ион.

Превращение атома (или молекулы) в положительный ион может произойти самыми различными способами. Электрон может быть вырван из атома в результате бомбардировки атомов газа быстро движущимися электронами или ионами. Электрон может быть вырван и в результате воздействия на атом рентгеновских, космических, α, β и γ лучей. Отщепление от атома внешних электронов может быть осуществлено ультрафиолетовым облучением газа и нагреванием.

Процесс образования ионов в газах называют *ионизацией* газа, а возбудителей ионизации — *ионизаторами*. Ионизаторами, следовательно, являются рентгеновские и ультрафиолетовые лучи, радиоактивные излучения, высокая температура.

Энергия ионизации. Отрыв электрона от атома (ионизация атома) требует затраты определенной энергии, необходимой для совершения работы по преодолению сил связи электрона с ядром. Эта энергия называется *энергией ионизации* и обозначается W_i.

Для различных атомов и молекул W_i колеблется в пределах от 3,88 до 24,5 *эв*.

После удаления из атома одного электрона прочность связи остальных электронов с ядром возрастает. Следовательно, для отщепления от однократно ионизованного газа еще одного электрона нужно совершить работу, значительно большую, чем для отрыва первого электрона. Например, энергия первой ионизации атома ртути равна 10,4 *эв*, для отрыва второго электрона необходима энергия 18,7 *эв*, третьего — 41,0 *эв*, четвертого — 72,0 *эв* и т. д.

Ионизация электронными ударами. Ионизационный потенциал. При прохождении электрического тока через газы ионизация электронными ударами имеет существенное значение, и на этом процессе мы остановимся особо.

Процесс ионизации электронными ударами заключается в том, что свободный движущийся электрон, обладающий достаточной кинетической энергией, при соударении с нейтральным атомом выбивает из атома один (или несколько) электронов. В результате нейтральный атом превращается в положительный ион и, кроме первичного, появляются новые электроны.

Кинетическая энергия бомбардирующему электрону сообщается электрическим полем. Пусть W_i — энергия, необходимая для ионизации газа. Чтобы приобрести эту энергию, электрон с зарядом e должен пройти в электрическом поле без столкновений разность потенциалов U_i (при нулевой начальной скорости), т. е.

$$eU_i = \frac{mv^2}{2} = W_i,$$

откуда

$$U_i = \frac{W_i}{e}.$$

Величину U_i называют ионизационным потенциалом газа. Он представляет собой минимальную разность потенциалов, в которой электрон набирает скорость и кинетическую энергию достаточную, чтобы вызвать ионизацию за одно соударение. Единицей измерения ионизационного потенциала служит вольт. Численные значения потенциала и энергии ионизации одинаковы.

Ионизация соударением возможна и при столкновении положительного иона с нейтральным атомом. Однако в обычных газонаполненных приборах ионизация ударами ионов в объеме газа гораздо менее эффективна, чем ионизация электронными ударами, и поэтому имеет второстепенное значение. Эта ионизация начинает становиться заметной только в сильных электрических полях.

Рекомбинация ионов. В газе наряду с ионизацией постоянно имеет место и обратный процесс: рекомбинация положительного иона и электрона в нейтральную частицу газа. Ионизацию и рекомбинацию можно описать формулой (запишем ее для паров ртути):

$$\mathrm{Hg} + W_i \rightleftarrows \mathrm{Hg}^{+} + e.$$

Член W_i соответствует энергии ионизации, верхняя стрелка относится к процессу ионизации, нижняя — к процессу рекомбинации.

При постоянном действии ионизатора между процессами ионизации и рекомбинации устанавливается равновесие и в объеме газа поддерживается постоянное число заряженных частиц. При увеличении активности ионизатора число заряженных частиц увеличивается. И, наконец, при уменьшении активности ионизатора преобладает процесс рекомбинации, который приводит к нейтрализации газа или пара.

Процесс рекомбинации ионов после прекращения действия ионизатора называют деионизацией газа.

Заметим также, что рекомбинация ионов газа может происходить и на поверхностях твердых и жидких тел. Отрицательные ионы отдают электроны этим телам, а положительные ионы принимают.

Возбуждение атома. Свечение газа. Согласно современной теории строения атома нормальный атом находится в том стационарном состоянии, которое характеризуется наименьшим значением энергии W_0. Это значение энергии принимают за нижний (нулевой) уровень. Иными словами: нормальный атом находится на нижнем уровне. Находясь в этом состоянии, он не излучает электромагнитных волн. Однако атом может находиться в стационарном состоянии и при другом более высоком дискретном уровне $W_п$ ($W_п > W_0$). У атома каждого элемента имеется целый ряд таких уровней.

Переход атома из нормального состояния с минимальной энергией W_0 к состоянию с большей энергией $W_п$ называется возбуждением атома. Энергия возбуждения и соответствующие потенциалы возбуждения различных атомов различны. Для атома водорода энергия первого возбуждения равна 10,2 *эв*, второго — 12,1 *эв*, третьего — 12,7 *эв* и т. д. Предельным значением энергии возбуждения является энергия ионизации, равная 13,6 *эв*. Первые потенциалы возбуждения для некоторых газов и паров таковы: цезий — 1,45 *в*, натрий — 2,2 *в*, ртуть — 4,86 *в*, водород — 10,2 *в*, аргон — 11,5 *в*, неон — 16,5 *в*.

Возбуждение, так же как ионизация, может происходить различными путями: под действием другого атома (или молекулы), электрона, иона или кванта света.

В отличие от ионизации при возбуждении ни один из орбитальных электронов не покидает атом. Атом при возбуждении остается нейтральным.

Другими словами, если энергия бомбардирующего электрона недостаточна для ионизации ударом, то он может перевести орбитальный электрон лишь на один из более высоких энергетических уровней, характерных для данного атома.

В возбужденном состоянии атом долго не остается. Он может существовать всего лишь от 10^{-10} до 10^{-7} *сек*. Благодаря последующим соударениям за это время атом может перейти в еще более возбужденное состояние, т. е. ионизоваться. Но обычно он возвращается в нормальное состояние, излучая приобретенную энергию в виде кванта света. Частота излучения равна разности энергетических уровней, деленной на постоянную. Планка h, равную $6{,}624 \times 10^{-27}$ *эрг · сек*:

$$\nu = \frac{W_п - W_0}{h}.$$

Если эта частота лежит в пределах видимого света и излучается достаточное количество квантов, то наблюдается видимое свечение. Поскольку для каждого данного атома возможен целый ряд энергетических уровней, значит, существует и целый ряд частот излучения, которые в совокупности образуют спектр излучения данного газа. Этот спектр излучения состоит из отдельных линий. Этим объясняется свечение газа при прохождении через него тока.

Свечение газа настолько неотделимо от его электропроводности, что часто служит видимым признаком прохождения тока в газе и позволяет судить о процессах, происходящих в нем.

Второй причиной излучения газа является рекомбинационное излучение. Оно возникает в результате процессов воссоединения (рекомбинации) ионов и электронов. При этом излучается энергия, равная той, которая была израсходована на ионизацию. Спектр реком бинационного излучения смешанный: он содержит спектральные линии и отдельные участки сплошного спектра

Возбуждение атомов и сопутствующее ему свечение для прохождения тока обычно несущественны. Но нередко они используются сами по себе, когда газ должен служить источником света, в частности в газосветных лампах.

К газосветным приборам относятся сигнальные неоновые лампы, лампы дневного света, медицинские ртутные лампы, фотографические лампы-вспышки, рекламные трубки и др.

Метастабильные состояния. Ступенчатая ионизация. Время пребывания в состоянии возбуждения некоторых атомов, особенно инертных газов и паров ртути, в значительной степени зависит от давления газа, наличия в нем примесей и других причин. Это время может длиться от 10^{-4} до 10^{-2} *сек*. Такие состояния называются метастабильными. Благодаря такой сравнительно большой продолжительности атом, находящийся в метастабильном состоянии, как правило, не возвращается в нормальное или менее возбужденное состояние. Он может отдать свою энергию возбуждения другому атому в результате соударения (называемого соударением второго рода), или перейти в состояние более высокого возбуждения, или ионизироваться. Для ионизации атома, находящегося в метастабильном состоянии, потребуется меньше энергии, чем для ионизации газа, находящегося в нормальном состоянии. Это явление известно как ионизация последовательным соударением, или ступенчатая ионизация. Оно имеет существенное значение, так как позволяет в некоторых случаях поддерживать ионизацию газа при напряжениях, меньших потенциала ионизации

Другие причины возбуждения и ионизации газа. Выше уже говорилось, что возбуждение и ионизацию атомов газа могут вызвать световое облучение, ультрафиолетовые, рентгеновские, α-, β- и γ- лучи, космические лучи и нагревание.

Здесь эти причины мы несколько конкретизируем.

Видимый свет, ультрафиолетовые, рентгеновские и γ-лучи представляют собой поток квантов электромагнитных волн различных частот. Энергия одного кванта излучения W определяется известной формулой Планка $W=h\nu$, где h — постоянная Планка; ν — частота излучения.

Энергия квантов видимого света колеблется от 1,7 *эв* (инфракрасная граница) до 3,2 *эв* (ультрафиолетовая граница). Затем в порядке возрастания энергии следуют кванты ультрафиолетовых, рентгеновских и γ-лучей.

Возбуждение и ионизация атома облучением всегда сопровождается поглощением облучающего кванта энергии, при этом избыток энергии превращается в кинетическую энергию частиц.

Простая ионизация атомов газа или пара видимым светом энергетически невозможна. В самом деле, для того чтобы произошла ионизация, энергия кванта, по крайней мере, должна быть равна энергии ионизации W_i. Наименьшей энергией ионизации обладают атомы паров цезия — 3,88 *эв*. Такой энергией кванты видимого света не обладают. Ее несут только кванты ультрафиолетового излучения с длиной волны 3 184 Å.

Видимый свет может вызвать только возбуждение атома. Однако за счет ступенчатой ионизации атом, находящийся в возбужденном или метастабильном состоянии, может быть ионизирован видимым светом.

Кванты рентгеновских, α-, β- и γ-лучей являются отличными ионизаторами; β-лучи представляют поток быстрых электронов; α-

лучи — поток движущихся с большой скоростью атомов гелия, потерявших оба свои электрона. Об ионизации такими заряженными частицами мы уже говорили. Ионизация этими частицами сводится к ионизации путем соударения заряженных частиц и нейтральных атомов (или молекул).

Космические лучи складываются из различных частиц: электронов, протонов, позитронов, мезонов, нейтронов, ядер гелия и совсем небольшого количества ядер легких элементов с малыми атомными весами. Энергия этих частиц измеряется десятками миллионов электрон-вольт, поэтому ионизирующее действие каждой такой частицы велико.

Ионизация может быть вызвана и сильным нагревом (термическая ионизация) При высокой температуре в несколько тысяч градусов кинетическая энергия отдельных атомов может оказаться достаточной для того, чтобы вызвать ионизацию соударением. В обычных электронных приборах столь высокая температура не достигается.

Плазма. Среди новых понятий, прочно вошедших в физику, все чаще упоминается газовая плазма (или просто плазма). Плазмой называется сильно ионизированный газ, в котором положительные и отрицательные заряды находятся в приблизительно равных количествах, и поэтому газ в целом электрически нейтрален. Неотъемлемым признаком плазмы является свечение и большая электропроводность. Свечение плазмы указывает на то, что частицы плазмы непрерывно возбуждаются и, возвращаясь в нормальное состояние, испускают кванты света. А большая электропроводность, близкая к проводникам, свидетельствует о наличии в газе огромного количества заряженных частиц. Частицы в плазме непрерывно рекомбинируют и ионизируются вновь.

Плазма наблюдается во многих газонаполненных приборах: лампах дневного света, неоновых лампах, газосветных трубках и т. д. В этих приборах плазма видна глазом. Плазма имеет место в электрической дуге, в канале электрической искры и молнии.

Обычное состояние газа. В обычных условиях газы и, в частности, воздух всегда подвергаются действию космических лучей и радиоактивных излучений земной коры. Однако интенсивность этих ионизаторов мала, поэтому число ионов и электронов в газе ничтожно. Например, в 1 *см*^{3} воздуха, содержащем $2{,}7 \cdot 10^{19}$ нейтральных молекул, содержится приблизительно 1 000 ионов обоих знаков. Это число несколько возрастает летом и уменьшается зимой.

Такая ничтожная степень ионизации (10^{-14}%) атмосферного воздуха позволяет считать его в первом приближении диэлектриком и его изолирующие свойства широко применять в электротехнике (провода электрической сети, телеграфа, трамвая и т. д.).

Однако в достаточно сильных электрических полях присутствие в газах даже такого малого количества свободных электронов и ионов играет существенную роль (как мы увидим ниже) в возникновении значительной электропроводности газа. Эти начальные заряженные частицы выполняют роль запала в дальнейшем развитии разряда. От их наличия зависит величина и стабильность запаздывания первого зажигания разряда, причем при отсутствии начальной ионизации разряд не может начаться вообще.

Эмиссия заряженных частиц твердыми телами

Работа выхода электронов. В работе ламп с холодным катодом существенное место занимают процессы, происходящие на поверхности электродов. Мы рассмотрим только процессы на катоде, в результате которых наблюдается эмиссия (выделение) электронов.

Для того чтобы электрон мог оторваться от катода, ему необходимо сообщить извне добавочную энергию, достаточную для совершения работы по преодолению сил, удерживающих электрон. Минимальная энергия, необходимая для удаления электрона из вещества, называется работой выхода P. Ее обычно измеряют в тех же единицах, что и энергию ионизации атома W_i, т. е. в электрон-вольтах.

У различных чистых металлов работа выхода различна, наибольшая у платины — 6,27 *эв*, наименьшая у цезия — 1,81 *эв*. Обратим внимание, что всегда $P < W_i$, например, для цезия в твердом состоянии $P = 1,81$ *эв*, а у его же атома в парообразном состоянии $= 3,88$ *эв*.

Если сообщенная электрону энергия окажется больше P, то избыток идет на сообщение эмиттированному электрону начальной скорости.

Активированный катод. Работа выхода в сильной степени зависит от состояния поверхности катода и в особенности от степени ее чистоты. Работу выхода можно значительно понизить путем нанесения на поверхность катода очень тонкого слоя другого металла с низкой работой выхода. Обычно катоды покрывают щелочноземельными металлами: цезием, торием, барием, стронцием и их окислами.

Катод, покрытый слоем щелочноземельного металла, называют активированным. Работа выхода активированного катода всегда меньше работы выхода как металла основания, так и металла активного слоя. Например, работа выхода катода из чистого никеля равна 4,9 *эв*, а активированного цезием в соединении с кислородом — порядка 0,7 *эв*.

При испарении активного слоя или его химическом повреждении эмиссионные качества катода ухудшаются.

Термоэлектронная эмиссия. В твердых веществах атомы совершают колебательные движения около среднего положения. При нагревании кинетическая энергия этих колебаний увеличивается и часть энергии передается электронам. Если увеличение энергии электрона окажется больше работы выхода, то электрон может выйти за пределы поверхности металла. При комнатной температуре число таких электронов ничтожно, но при высоких температурах их число становится большим. В лампах с холодным катодом температура электродов явно недостаточна для сколько-нибудь заметной термоэлектронной эмиссии.

Фотоэлектронная эмиссия. Если на поверхность твердого или жидкого тела падает поток электромагнитного излучения (световые, рентгеновские или γ-лучи), то часть квантов излучения отражается, а часть проникает внутрь тела и там поглощается. При поглощении квантов энергии в теле могут появиться электроны настолько большой энергии, что некоторые из них, дойдя до поверхности тела, оказываются эмиттированными. Это явление называется внешним фотоэффектом или фотоэлектронной эмиссией, а освобожденные электроны называют фотоэлектронами.

Согласно квантовой теории каждый квант излучения может выз-

вать только один фотоэлектрон. Если энергия кванта больше работы выхода, то избыток энергии идет на сообщение освобожденному электрону некоторой начальной скорости v и соответствующей кинетической энергии. На основании закона сохранения энергии А. Эйнштейн вывел уравнение фотоэффекта:

$$h\nu > P + \frac{mv^2}{2} .$$

Граничная частота $\nu_{гр}$, при которой эмиссия фотоэлектронов прекращается, т. е. $v=0$, определяется из уравнения

$$\nu_{гр} = \frac{P}{h} ,$$

а соответствующую длину волны $\lambda_{гр}$ можно рассчитать по формуле

$$\lambda_{гр} = \frac{c}{\nu_{гр}} = \frac{ch}{P} ,$$

где $c=3 \cdot 10^{10}$ *см/сек* — скорость света.

В сложных цезиевых фотокатодах, используемых в вакуумных и газонаполненных фотоэлементах, работа выхода в некоторых случаях доходит до 0,72 *эв*, что соответствует длинноволновой границе около 17 000 Å (инфракрасная часть спектра).

Вторичная электронная эмиссия. Эта эмиссия наблюдается при бомбардировке поверхности электродов электронами или ионами, ускоренными электрическим полем.

При электронной бомбардировке испускаемые поверхностью электроны состоят отчасти из отраженных первичных электронов, а отчасти — из вторичных электронов, вырванных из электрода. Вторичная электронная эмиссия особенно велика у электронов, активированных цезием. В отдельных случаях один первичный электрон может вызвать до 10 вторичных электронов. Отношение числа вторичных электронов к числу первичных называют коэффициентом вторичной эмиссии.

Вторичная электронная эмиссия может быть вызвана и бомбардировкой эмиттера (испускателя) как ионами, так и нейтральными частицами. Например, при энергии ионов гелия в несколько тысяч электрон-вольт на каждый положительный ион, бомбардирующий молибденовый катод, может приходиться 4—5 вторичных электронов. Как правило, с увеличением кинетической энергии (до 10^5 *эв*) ионов число вторичных электронов растет.

При малых же значениях энергии бомбардирующих ионов коэффициент вторичной эмиссии очень мал. Например, для этих же положительных ионов с энергией 50 *эв* он составляет 0,18, с энергией 100 *эв* — 0,20, а с энергией 200 *эв* — 0,26. Это означает, что каждая сотня бомбардирующих ионов вызывает соответственно только 18, 20 и 26 вторичных электронов. При бомбардировке ионами неона число вторичных электронов еще меньше.

Как при вторичной электронной эмиссии, так и при фотоэффекте возможны возбуждения отдельных атомов катода, т. е. энергия других, не эмиттированных электронами атомов может несколько возрасти. Поэтому при освещении катода и одновременной бомбардировке его первичными частицами как фотоэффект, так и вторичная эмиссия протекают иначе, чем при наличии только одного из этих процессов.

Автоэлектронная эмиссия. Экспериментально доказано, что эмиссию электронов из металлов можно вызвать также под дейст-

вием очень сильного электрического поля, порядка 10^5—10^6 *в/см*. Такое поле может быть получено посредством внешнего электрода, находящегося под высоким положительным потенциалом относительно эмиттера. В этом случае поле как бы «высасывает» электроны из эмиттера. С увеличением напряженности поля эмиссия быстро растет.

Сильное электрическое поле, необходимое для возникновения холодной эмиссии, может быть получено и вследствие большого скопления положительных ионов газа на очень близком расстоянии от поверхности эмиттирующего тела.

Эмиссия электронов под действием сильных электрических полей получила название автоэлектронной эмиссии, или холодной эмиссии.

Электрические разряды в газах

Классификация электрических разрядов. Если в объеме ионизированного газа возбудить электрическое поле, то под действием сил этого поля электроны и отрицательные ионы начнут перемещаться в одну сторону, а положительные ионы в противоположную. В результате в газе возникнет электрический ток. Процесс прохождения электрического тока через газ принято называть электрическим разрядом в газе.

В зависимости от явлений, сопровождающих ток в газах, различают несколько видов электрического разряда. По непосредственному зрительному восприятию различают темный (тихий) разряд, тлеющий, искровой и дуговой разряды. Темный разряд дает очень слабое свечение, свечение тлеющего разряда вполне заметно, а искровой и дуговой разряды излучают очень яркий свет. В названиях разряда часто находит отражение и форма светящейся части: кистевой разряд, коронный разряд.

В любом случае для начала разряда необходима начальная ионизация газа, создаваемая каким-либо внешним ионизатором (свет, рентгеновские лучи, нагревание и др.). Если с прекращением действия внешнего ионизатора ток в газе прекращается, то разряд называют несамостоятельным. Если электропроводность газа будет поддерживаться приложенной разностью потенциалов и собственным током, то разряд называют самостоятельным.

Несамостоятельный тихий разряд и переход его в самостоятельный. Все виды разрядов от несамостоятельного тихого разряда до дугового и процессы перехода от одного вида разряда к другому можно наблюдать в одной и той же лампе на установке, приведенной на рис. 1, *а*. Электрическая цепь, кроме двухэлектродной газоразрядной лампы и измерительных приборов, содержит внешний резистор R_1. Напряжение питания трубки можно изменять потенциометром R_2 и измерять вольтметром $U_Б$. Ток измеряется многопредельным микромиллиамперметром A. Пусть электроны и ионы в лампе создаются облучением газа, например, рентгеновскими лучами или облучением катода светом, вызывающим фотоэмиссию электронов. Вследствие рекомбинации в трубке устанавливается равновесное состояние: число вновь образующихся за секунду ионов равняется числу рекомбинировавших за это же время, и концентрация ионов и электронов остается постоянной. Если к лампе приложено напряжение, равновесие нарушается, так как часть ионов достигает электродов, не успев рекомбинировать. Когда напряжение увеличивается, все большая и большая часть создаваемых в единицу времени

йонов успевает достигнуть электродов, и электрический ток I в цепи растет (участок OA, рис. 1, *б*).

При некотором значении тока I_0 дальнейший прирост тока прекращается, ток остается постоянным, хотя и увеличивается напряжение $U_Б$. Этот ток называют **током насыщения**. Появление тока насыщения объясняется тем, что число электронов и ионов, возникающих в газе за счет действия внешних ионизаторов, равно

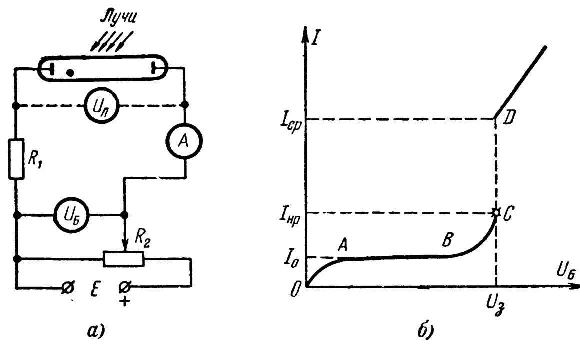


Рис. 1. Основная схема включения для снятия характеристик газоразрядных ламп (*а*) и вольт-амперная характеристика цепи из последовательно включенных лампы и сопротивления (*б*).

числу частиц, достигших электродов за тот же интервал времени. На участке AB весь «запас» электронов и ионов в разрядном промежутке уже исчерпан. Величину тока насыщения можно увеличить только за счет увеличения интенсивности ионизаторов. Ток насыщения обычно имеет значения порядка 10^{-18}—10^{-12} *а*.

Если же еще больше увеличивать напряжение, то скорость электронов возрастает настолько, что их кинетическая энергия становится достаточной, чтобы вызвать ионизацию атомов, с которыми они сталкиваются. В результате появляются вторичные электроны, которые также разгоняются полем и могут ионизировать другие атомы. На рис. 2 схематично показано нарастание числа электронов, образующих «электронную лавину», двигающуюся к аноду.

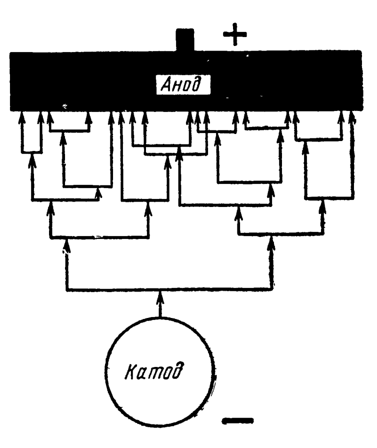


Рис. 2. Схема образования лавины электронов в газе.

Каждая электронная лавина оставляет за собой облако положительных ионов. Эти ионы движутся к аноду с небольшой (по сравнению с электронами) скоростью, и их кине-

тическая энергия недостаточна для ионизации нейтральных молекул ударом. Однако энергия наиболее быстрых ионов оказывается достаточной для выбивания из катода свободных электронов. Эти электроны образуют новую лавину. Таким образом, концентрация носителей тока в газе резко возрастает, что и приводит к быстрому увеличению тока на участке *ВС* (рис. 1, *б*).

Наконец, при определенном напряжении $U_з$, если сопротивление внешней цепи мало, ток мгновенно возрастает до очень больших значений (участок *СД*), ограниченных лишь сопротивлением резистора R_1 или мощностью источника напряжения. Газ начинает ярко светиться. А при разряде в свободной атмосфере появляются звуковые эффекты.

Этот переход к качественно новым явлениям носит название з а ж и г а н и я газового разряда или пробоя газового промежутка. Необходимая для зажигания разность потенциалов $U_з$ называется н а п р я ж е н и е м з а ж и г а н и я (п р о б о я).

При прекращении действия внешнего ионизатора разряд на участке ВС обрывается не сразу. Без внешнего ионизатора число электронов в каждой последующей лавине меньше, чем число электронов в вызвавшей ее предшествующей лавине, поэтому разрядный ток уменьшается. Следовательно, разряд на этом участке еще несамостоятельный.

Отношение числа электронов двух последующих лавин называют ионизационным нарастанием и обозначают буквой μ. На участке *ВС* $\mu<1$. Это неравенство является условием несамостоятельного разряда.

При $\mu>1$ разряд больше не нуждается для своего поддержания в постороннем ионизаторе и переходит в самостоятельный. Это имеет место после зажигания газового разряда.

Граничным условием существования самостоятельного разряда является равенство $\mu=1$.

Впервые количественная теория газового разряда между плоскопараллельными электродами, в частности теория электронных лавин и перехода разряда из несамостоятельного в самостоятельный, была предложена английским физиком Таунсендом. Поэтому форму разряда, соответствующую возрастающей части кривой *ВС*, называют несамостоятельным таунсендовским разрядом. Теория Таунсенда была существенно дополнена Роговским, который распространил ее также и на самостоятельный тлеющий разряд.

Теория и опыт показывают, что напряжение зажигания разряда зависит от химической природы и давления газа, геометрической формы и взаимного расположения электродов, от материала катода.

Как уже говорилось, для выбивания электронов из катода положительный ион должен совершить меньшую работу, чем для ударной ионизации молекулы газа. Поэтому вторичные электроны под действием положительных ионов появляются вначале в результате выбивания электронов из катода газоразрядной трубки.

Вторичные электроны, выбитые из катода, так же как и первичные, направляются к аноду и на своем пути лавинообразно ионизуют газ. Ионы, образованные ими, приходят на катод и выбивают новые электроны. Этот процесс размножения неограниченно повторяется и происходит очень быстро. В итоге число заряженных частиц в разрядном промежутке резко возрастает и в цепи наблюдается скачок тока.

Следует заметить, что выбивание вторичных электронов из ка-

тода осуществляется и за счет бомбардировки катода метастабильными атомами, а также в результате фотоэлектронной эмиссии катода, вызванной излучением самого разряда, и других процессов.

Теперь, после зажигания, внешний ионизатор уже не играет практически никакой роли в осуществлении газового разряда, так как число создаваемых им первичных электронов и ионов ничтожно по сравнению с числом вторичных электронов и ионов, возникших благодаря указанным выше процессам. Поэтому прекращение действия внешнего ионизатора никак не отражается на дальнейшем протекании газового разряда. Таким образом, повышая напряжение между электродами газоразрядной лампы, можно осуществить переход несамостоятельного тихого разряда в самостоятельный.

Самостоятельный тихий разряд. При наличии во внешней цепи газоразрядной трубки большого сопротивления, порядка нескольких миллионов ом, переход от несамостоятельного к самостоятельному разряду совершается постепенно, и можно наблюдать переходную форму разряда. Если ток самостоятельного разряда порядка нескольких микроампер, то разряд называют самостоятельным тихим разрядом.

Для самостоятельного тихого разряда характерно то, что с увеличением напряжения питания напряжение на электродах трубки остается равным напряжению зажигания или близким к нему.

Свечение газа при самостоятельном тихом разряде слабое, и возникает оно около анода. Это объясняется тем, что в этой области больше всего электронов, и здесь имеет место наибольшее число возбуждений частиц газа. При уменьшении сопротивления внешней цепи ток в газе возрастает, в разрядном промежутке начинается перераспределение объемных зарядов, электрическое поле искажается и свечение газа начинает распространяться в направлении катода.

Самостоятельный тихий разряд иногда называют таунсендовским разрядом.

Тлеющий разряд. При низком давлении газа (от 0,1 до 100 *мм рт. ст.*) и токе самостоятельного разряда порядка 1—100 *ма* свечение газа в длинной цилиндрической трубке будет выглядеть, как показано на рис. 3, *а*. Такой самостоятельный разряд называют нормальным тлеющим разрядом.

Непосредственно к катоду прилегает очень узкое темное пространство — астоново темное пространство, затем следует довольно тонкий слабо светящийся слой — катодное свечение, и после него располагается темное катодное пространство. Это пространство отделяется резкой границей от отрицательного свечения; последнее быстро убывает по своей интенсивности в направлении к фарадееву темному пространству. На положительном конце фарадеева пространства начинается положительный столб. Эта область имеет либо однородную интенсивность свечения, либо разделена на отдельные чередующиеся светлые и темные слои — страты. На положительном конце положительного столба иногда видно темное анодное пространство, за которым следует прилегающее вплотную к аноду анодное свечение.

При понижении давления газа в трубке катодное темное пространство и примыкающая к нему область отрицательного свечения расширяются, а свечение становится более бледным. При давлении 0,01 *мм рт. ст.* и ниже всякое свечение газа внутри трубки прекращается.

При повышении давления газа астоново темное пространство и катодное свечение исчезают, отрицательное свечение смещается к ка-

тоду, фарадеево темное пространство сокращается, а положительный столб удлиняется. При соответствующем подборе условий во внешней цепи и при непрерывном охлаждении катода удается получить тлеющий разряд при давлениях, близких к атмосферному и выше.

По внешнему виду тлеющий разряд различен в зависимости от размеров разрядной трубки, формы, размеров и материала электродов и расстояния между ними.

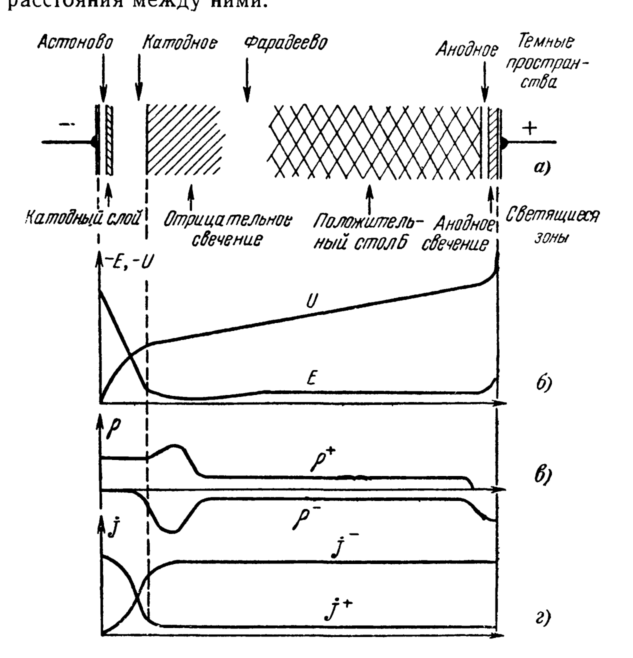


Рис. 3. Вид тлеющего разряда (*а*) и распределение по длине лампы потенциала и напряженности поля (*б*), пространственного заряда (*в*) и плотности тока (*г*).

Особое значение в тлеющем разряде имеют только две его части — катодное темное пространство и отрицательное свечение. В этих зонах и происходят основные процессы, поддерживающие разряд. Если в газоразрядной трубке сделать анод подвижным и постепенно придвигать его к катоду, то все катодные части остаются неизменными, а укорачивается только положительный столб. При дальнейшем уменьшении длины разрядного промежутка начинает укорачиваться фарадеево темное пространство. Когда анод попадает в отрицательное свечение, оно исчезает. Однако при этом разряд продолжает существовать. И только когда анод подходит к границе между катодным темным пространством и отрицательным свечением, разряд гаснет. Чем это вызывается?

Из экспериментального графика (рис. 3, *б*), характеризующего распределение потенциала по длине трубки, мы видим, что значительная часть падения потенциала в разряде приходится на

область между катодом и границей отрицательного свечения. Эта разность потенциалов получила название катодного падения потенциала. Соответственно в этой зоне относительно велика и напряженность электрического поля *E*. Именно благодаря этому сильному полю положительные ионы, проходя через область катодного темного пространства, приобретают необходимую энергию для образования интенсивной вторичной электронной эмиссии с катода, без которой тлеющий разряд не мог бы существовать. В поле этой же области вторичные электроны также ускоряются и при последующих соударениях с атомами газа на пути к аноду создают новые лавины электронов и ионов.

Таким образом, основные процессы, поддерживающие самостоятельный разряд (ионизация электронными ударами в объеме газа и вторичная электронная эмиссия из катода), происходят в катодных частях тлеющего разряда. Поэтому без катодного темного пространства и зоны отрицательного свечения тлеющий разряд невозможен.

А каково значение положительного столба?

В положительном столбе содержится огромное количество как положительных ионов, так и электронов. Однако результирующий пространственный заряд равен нулю, так как концентрация этих зарядов ρ одинакова (рис. 3, *в*). Следовательно, в этой области мы имеем дело с плазмой, электропроводность которой велика [1]. Поэтому положительный столб выполняет лишь функции проводника, соединяющего отрицательные зоны с анодом.

Так как скорость положительных ионов мала, то ток в положительном столбе переносится главным образом электронами (рис. 3, *г*). Может показаться, что вследствие различия скоростей свободных зарядов в положительном столбе может нарушиться равенство концентрации положительных и отрицательных зарядов. Однако это не так. При рассмотрении переноса зарядов в столбе необходимо принять во внимание и процессы, происходящие на его концах. Из фарадеева темного пространства непрерывно поступает столько электронов, сколько их уходит за это же время на анод. А в фарадеево темное пространство уходит столько положительных ионов, сколько их поступает в столб из анодной области, где они образуются в результате ионизации.

Итак, положительный столб не является необходимым для существования разряда, хотя он и может составлять самую протяженную часть разряда. Положительный столб может быть и прямым, и изогнутым, и иметь любую длину, как в газосветных неоновых трубках, если приложено достаточно высокое напряжение. В миниатюрных лампах положительный столб обычно отсутствует.

Свечение газа при тлеющем разряде. Электрон начинает свой путь с катода с очень малой начальной скоростью и энергией (порядка 1 *эв*) Он не может вызвать возбуждения атомов, а следовательно, и свечения, пока его энергия не достигнет по крайней мере наинизшего (первого) потенциала возбуждения. Поэтому в области астонова темного пространства электрон приобретает энергию, соответствующую энергии возбуждения. В светящемся катодном слое такие возбуждения уже начинаются. На более далеких расстояниях от катода большинство электронов (но не все) имеет большую скорость и возбуждения мало вероятны. Такие электроны способны ионизировать атом. Вследствие этого интенсивность излучения катодного темного пространства невелика.

[1] Плазма имеется и в области отрицательного свечения.

Электроны, поступившие в зону отрицательного свечения, можно разделить по меньшей мере на две группы. Первую группу составляют быстрые электроны, образовавшиеся на катоде или вблизи него и не успевшие потерять энергию при столкновениях в темном пространстве. Вторая, большая группа состоит из медленных электронов, образовавшихся в темном пространстве. Энергия этих электронов меньше, чем энергия ионизации, но достаточна для возбуждения. При столкновениях с атомами эти медленные электроны возбуждают их и вызывают отрицательное свечение. Так как в этой области концентрация электронов и ионов велика, а электрическое поле мало, то очень медленные электроны могут рекомбинировать с положительными ионами и вызвать рекомбинационное свечение. Однако рекомбинационное излучение в отрицательном свечении имеет в общем малую интенсивность.

Последующее медленное увеличение поля приводит к тому, что скорость медленных электронов возрастает и они пролетают мимо ионов, не успев рекомбинировать. Это приводит к уменьшению рекомбинационного излучения и появлению фарадеева темного пространства.

По мере дальнейшего увеличения поля в направлении к положительному столбу медленные электроны разгоняются настолько, что в положительном столбе начинается возбуждение электронным ударом и атомы испускают кванты света, соответствующие спектральным линиям, лежащим в области малых энергий. В положительном столбе имеет место и рекомбинационное излучение, кванты которого обладают большей энергией и частотой, лежащей в ультрафиолетовой части спектра.

Электрон, вышедший из положительного столба, вступает в область анодного свечения с малой начальной скоростью. Здесь он ускоряется в направлении анода и после прохождения темного анодного пространства приобретает скорость, достаточную для возбуждения и ионизации газа перед анодом. Поэтому анод покрывается светящимся слоем (анодное свечение).

Нормальное и аномальное катодное падение потенциала. Аномальный тлеющий разряд. Как уже говорилось, катодным падением потенциала условились считать разность потенциалов между катодом и началом отрицательного свечения (рис. 3, *б*). Катодное падение потенциала является одним из наиболее характерных признаков тлеющего разряда, отличающим эту форму газового разряда от всех других форм. Мы видели, что именно благодаря ему поддерживается тлеющий разряд.

Опыт показывает, что если вследствие большого внешнего сопротивления внешней цепи ток в тлеющем разряде невелик, то отрицательным свечением покрыт не весь катод. Поверхность катода, покрытая свечением, пропорциональна току в трубке. Длина катодного темного пространства и плотность тока при увеличении или уменьшении тока остаются неизменными. Вместе с тем остается постоянной и катодное падение потенциала. Такой режим называют режимом нормального катодного падения. Для давлений порядка нескольких десятков *мм рт. ст.* нормальное катодное падение не зависит от давления и определяется лишь материалом катода и родом газа. Например, для никелевого катода в водороде нормальное катодное падение равно 211 *в*, а сложных цезиевых катодов в неоне 30—40 *в*. Нормальное катодное падение всегда меньше напряжения зажигания самостоятельного разряда.

Когда же ток достигнет такой величины, что отрицательное све-

чение покрывает весь катод, катодное падение начинает возрастать. Возрастает и плотность тока, а ширина катодного темного пространства уменьшается. В этом случае катодное падение называют аномальным катодным падением, а самый разряд — аномальным тлеющим разрядом.

Дуговой разряд. Вернемся к установке рис. 1, *а*. После зажигания аномального тлеющего разряда будем продолжать увеличивать ток в цепи, постепенно уменьшая внешнее сопротивление. При токе порядка 1 *а* форма разряда скачкообразно изменяется, аномальный тлеющий разряд превращается в дуговой с током в несколько десятков или даже сотен ампер, а напряжение на клеммах трубки уменьшается до десятка вольт. Вместо тлеющего света мы увидим ослепительный яркий свет [1].

По внешнему виду дуговой разряд в трубках с холодными электродами отличается от тлеющего тем, что на катоде появляется ярко светящееся пятнышко — катодное пятно. Непосредственно к катодному пятну прилегает часть разряда, соответствующая отрицательному свечению тлеющего разряда. Эту часть называют отрицательной, или катодной, кистью или отрицательным пламенем. Затем расположены темное пространство (аналогично фарадееву темному пространству тлеющего разряда), положительный столб, имеющий сужение у анода, и анодное темное пространство. Яркость положительного столба значительно больше, чем в случае тлеющего разряда, и увеличивается с увеличением тока.

Плазма в пространстве между электродами может развиваться как при пониженном и атмосферном давлении, так и при давлении в несколько атмосфер.

Основные электрические свойства дуги таковы: огромная электропроводность разрядного промежутка; с увеличением тока катодное падение потенциала быстро уменьшается. Если при аномальном тлеющем разряде катодное падение потенциала измеряется сотнями вольт, то в дуге оно порядка 10 *в*.

Однако в дуге толщина слоя катодного падения составляет всего лишь 10^{-4} *см*, поэтому в области катодного пятна и при таком малом катодном падении потенциала возникает электрическое поле с напряженностью порядка 10^5 *в/см*.

Был предложен ряд гипотез для объяснения работы катода холодной дуги. Наиболее распространенной точкой зрения является электронная эмиссия под воздействием сильного электрического поля (автоэлектронная эмиссия).

Искровой разряд можно наблюдать между двумя электродами при кратковременном разряде конденсатора через лампу. Искра имеет вид ярко светящегося тонкого разветвленного канала, соединяющего оба электрода. Электрическая искра возникает в том случае, если электрическое поле в газе достигает напряженности пробоя на всем протяжении между электродами.

Так называемая стримерная теория, обоснованная экспериментальными данными, объясняет возникновение искрового разряда следующим образом. Возникновению ярко светящегося канала предшествует появление слабо светящихся скоплений ионизированных частиц — стримеров (рис. 4, *а*). В виде конусов на этом рисунке показаны электронные лавины. Причиной возникновения стримеров

---

[1] При подборе сопротивления внешней цепи удается стабилизировать переходную форму разряда и наблюдать при определенных давлениях непрерывный переход тлеющего разряда в дуговой.

является не только образование электронных лавин посредством ударной ионизации, но еще и ионизация газа излучением, возникающим в самом разряде.

Пронизывая газоразрядный промежуток, стримеры образуют проводящие мостки, по которым в последующие стадии разряда и устремляются мощные потоки электронов (рис. 4, *б*). Температура

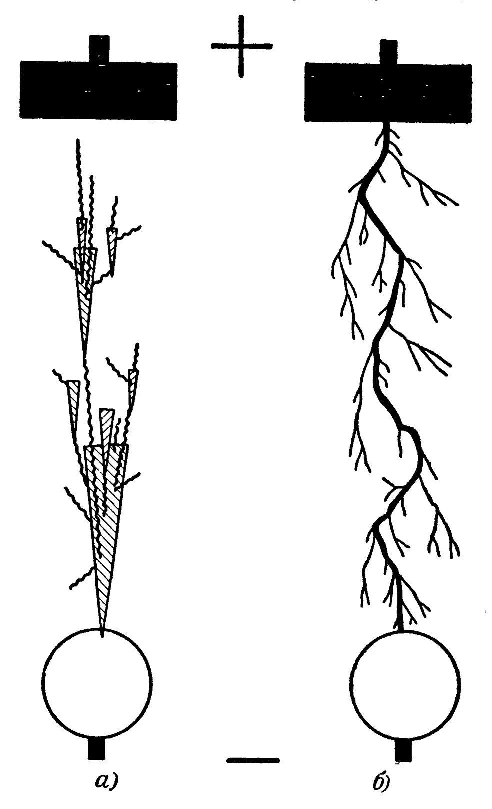


Рис. 4. Схема зарождения (*а*) и прохождения (*б*) искрового разряда.

в искре может достигать 100 000° С и выше, что является, по-видимому, основной причиной ионизации газа в искре на ее последующих стадиях. Степень ионизации газа в канале искры может приближаться к 100%. Молния представляет собой гигантскую электрическую искру с током от 10 000 до 500 000 *а*.

Коронный и кистевой разряды. Эти виды разрядов относятся к типу самостоятельных разрядов и наблюдаются при острых тонких электродах, около которых возникает значительное, но неравномерное электрическое поле.

Процессы внутри короны, например, покрывающей острие, сводятся к следующему. Если острие заряжено отрицательно, то по до-

стижении напряженности 30 000 *в/см* у поверхности острия зарождаются электронные лавины (рис. 2), которые распространяются в направлении от острия Так как по мере удаления от острия электронные лавины обрываются, расстояние, на которое распространяются электронные лавины, и есть толщина светящейся короны. В случае положительной короны электронные лавины зарождаются на внешней поверхности короны и движутся по направлению к острию.

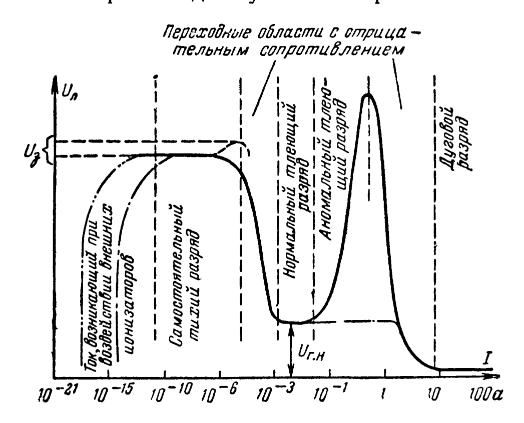


Рис. 5. Полная вольт-амперная характеристика лампы.

Кистевой разряд можно наблюдать вблизи острия в виде светящейся синевато-красным светом кисточки. При наблюдении в микроскоп у острого катода можно различать все детали типичного тлеющего разряда (рис. 3, *а*), поэтому кистевой разряд можно считать разновидностью тлеющего разряда.

Как в коронном разряде, так и в кистевом имеет место неполный пробой газового промежутка, потому что сильное поле сосредоточено в небольшой части разрядного промежутка.

Полная вольт-амперная характеристика газового разряда. Вольтамперной характеристикой разряда называют график, представляющий зависимость между током в разрядном промежутке и напряжением на этом промежутке. Практически эту характеристику можно получить на установке, показанной на рис. 1, *а*. Необходимо лишь параллельно электродам лампы дополнительно включить статический вольтметр и в широких пределах менять ток с помощью резистора R_1. Полная вольт-амперная характеристика, охватывающая все виды разряда в диапазоне токов от 10^{-21} *а* до 100 *а*, приведена на рис. 5. Эта характеристика содержит в себе вольт-амперные характеристики разрядов, возможных в лампах с холодным катодом, начиная от области несамостоятельного разряда и кончая областью дугового разряда.

В отличие от характеристики, приведенной на рис. 1, *б*, характеристика на рис. 5 показывает изменение напряжения непосредственно на электродах лампы в зависимости от величины разрядного тока.

Максимальное напряжение характеристики самостоятельного тихого разряда соответствует напряжению зажигания $U_з$. При тлею-

щем разряде минимальное напряжение на лампе определяет нормальное напряжение горения $U_{г.н}$.

При различных режимах включения газоразрядных ламп используются различные участки полной характеристики, показанной на рис. 5.

Характеристика возникновения разряда. Напряжение зажигания зависит от расстояния между электродами, их формы, материала, катода, от давления газа, его состава и степени чистоты.

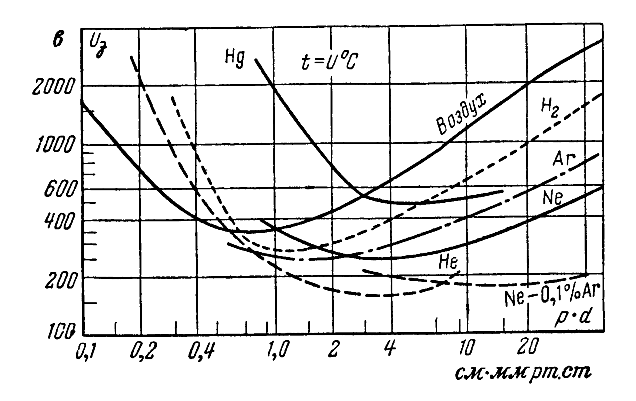


Рис. 6. Характеристика зажигания разряда в зависимости от расстояния между электродами d и давления газа p.

На рис. 6 приведены соответствующие характеристики возникновения разряда. Они дают возможность определить напряжение зажигания в зависимости от величины произведения расстояния между электродами d на давление газа p.

На основе серии таких кривых в зависимости от необходимого напряжения зажигания выбирается оптимальная конструкция ламп с холодным катодом, взаимное расположение электродов, расстояние между разными парами электроцов, давление наполняющего газа и другие величины.

Запаздывание зажигания разряда. Предположим, что в момент времени $t=0$ на разрядную трубку внезапно подано напряжение $U_а > U_з$. С момента наложения напряжения до зажигания самостоятельного разряда проходит некоторое конечное время. Это время запаздывания можно разбить на две части: статическое время зажигания — время между моментом наложения напряжения на электроды и моментом появления в промежутке заряженной частицы, которая, ионизируя газ, способна вызвать начало возникновения разряда, и время формирования разряда — время между появлением в разрядном промежутке заряженной частицы и тем моментом, когда в результате различных процессов ионизации возникнет самостоятельный разряд

При действии внешнего ионизатора статическое время зажигания разряда уменьшается, при этом чем сильнее действие ионизатора, тем меньше время запаздывания. Без внешнего ионизатора

появление заряженной частицы, выполняющей роль запала разряда, носит случайный характер, и время запаздывания зажигания может измениться в очень широких пределах и при напряжениях, немного превышающих $U_з$, может доходить до нескольких минут.

В газоразрядных приборах снижение (до единиц микросекунд) запаздывания зажигания разряда достигается различными способами: облучением активизированного катода светом, введением в газоразрядный промежуток радиоактивных веществ, диффузией электронов из вблизи расположенного вспомогательного разрядного промежутка с током самостоятельного разряда и др.

Катодное распыление. Кроме электронных явлений, на катоде тлеющего разряда происходит еще характерный процесс — катодное распыление.

Атомы и молекулы катода летят во все стороны по прямым линиям и покрывают другие электроды и стенки колбы металлическим налетом. Основная доля распыляющихся частиц нейтральна.

Катодное распыление тем больше, чем больше масса положительных ионов газа, бомбардирующих катод. Распыление также увеличивается и с уменьшением давления газа до 0,1—0,01 *мм рт. ст.* Дальнейшее снижение давления не оказывает влияния на распыление.

При катодном падении напряжения, равном или близком по своей величине к нормальному, распыление столь незначительно, что обнаруживается лишь после продолжительного (сотни часов) непрерывного действия разряда. Однако с увеличением катодного падения потенциала распыление растет и при аномальном тлеющем разряде становится существенным. В этом случае распыление катода растет примерно пропорционально квадрату плотности тока.

К настоящему времени единой теории катодного распыления нет.

При распылении катода увеличивается проводимость (утечка) изолирующих деталей, появляется возможность зажигания разряда между выводами электродов, изменяется состояние поверхности катода и т. д. Поэтому катодное распыление является одним из факторов, определяющих нестабильность работы газоразрядных приборов и их срок службы.

Поглощение газа. Катодное распыление всегда сопровождается поглощением газа распыленными частицами. Это поглощение является одним из процессов понижения давления (жесточения) газа. При катодном распылении инертные газы поглощаются в гораздо меньшей степени, причем аргон поглощается много сильнее неона.

Поглощение газа зависит от давления и разрядного тока: чем больше давление и меньше ток, тем поглощение меньше.

Изменение давления наполняющего газа при его поглощении влияет на электрические характеристики и многие параметры приборов тлеющего разряда, их стабильность во времени. Для уменьшения этого влияния в ионных приборах несколько завышают давление, правильно выбирают материал катода и состав газового наполнения.

Процессы поглощения газа и распыления катода ограничивают срок службы ионных приборов.

Глава вторая

РАЗНОВИДНОСТИ ЛАМП С ХОЛОДНЫМ КАТОДОМ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Неоновые лампы

Наиболее простые газоразрядные лампы с двумя электродами (диоды), первоначально разработанные специально для сигнальных целей, получили название неоновых ламп.

Неоновые лампы обычно работают в режиме тлеющего разряда. Положительный столб тлеющего разряда в этих лампах отсутствует, так как расстояние между электродами мало, видимое свечение газа исходит из зоны отрицательного свечения.

Цвет свечения лампы зависит от состава газа, наполняющего баллон. Так, лампа, наполненная неоном, имеет характерное красное свечение, наполненная гелием — желтоваго-белое. Большинство неоновых ламп наполняется неоново-гелиевой смесью с небольшой при-

Таблица 1

Неоновые лампы

Тип лампы	Род тока	Напряжение сети, *в*	Напряжение зажигания, *в*	Ток, *ма*	Срок службы, *ч*	Диаметр баллона, *мм*	Длина, *мм*	Тип цоколя
СН1[1]	Переменный	220	150	20	1 000	55	90	Р-27
СН2[1]	„	127	56—82	30	1 000	55	90	Р-27
МН3[2]	Постоянный	—	48—65	1	300	15	35	1Ш-1
МН4	„	—	80	2	500	15	35	1Ш-122
МН5[3]	Переменный	180	50—150	0,2	200	9	33	Р-10
МН6[4]	Постоянный	—	60—90	0,8	100	6,8	28	—
МН7[5]	„	—	87	2	200	15	40	2Ш-15
МН8	„	—	85	1	200	9	38	Р-10
МН11	„	—	85	4	100	14,5	42	1Ш-9
МН12	„	—	95	0,2	—	9,5	34	1Ш-15
МН15	„	—	220	0,45	—	9,5	38	Р-10
95СГ9	—	—	65—95	3	—	11	36	1Ш-12
ПН1[6]	Постоянный	220	200	1	300	16	45	1Ш-15
ПН2	„	—	115	1	—	16	52	Р-14
ПН3	„	—	65—90	1	300	15	45	2Ш-15
ФН2[2]	Переменный	—	140	1	—	9,2	24	СФШ-9
ВМН1[5]	„	—	160	2	—	10	49	СФ-10
ВМН2	„	—	126	—	—	7	37	СФ-10
УВН1[7]	„	—	550	—	—	9	70	СФ-10
ВН1[8]	—	—	—	—	—	4,25	40	—
ВН2[8]	—	—	—	—	—	4,25	40	—
ТМН2	—	—	200	50	—	30	77	Ц-8
ИН3	—	—	65—85	0,2	500	7,3	27	—
НД2	—	—	220	485	—	38	—	2ШК
МН6а[4]	—	—	55	0,8	—	6,8	28	—

[1] Балластный резистор встроен в лампу.

[2] Требуется отдельный балластный резистор, ограничивающий ток до 1 *ма*.

[3] Требуется отдельный балластный резистор сопротивлением 300 *ком* и шунтирующий резистор сопротивлением 1 *Мом*.

[4] Требуется отдельный балластный резистор, ограничивающий ток до 0,8 *ма*.

[5] Требуется отдельный балластный резистор, ограничивающий ток до 2 *ма*.

[6] Требуется отдельный балластный резистор сопротивлением порядка 80 *ком*.

[7] Последовательно с лампой включается конденсатор.

[8] Требуется отдельный балластный резистор сопротивлением 4—6 *ком*.

месью аргона (для понижения напряжения зажигания) и имеет оранжево-красное свечение.

В зависимости от конструктивных особенностей, а следовательно, и назначения неоновые лампы иногда разделяются на следующие группы: индикаторные и сигнальные неоновые — ИН3, СН1 и СН2; миниатюрные неоновые — МН3—МН15; лампы специального назначения, в которые входят панельные — ПН1—ПН3, фазовые — ФН2 и волномерные — ВМН1; неоновые лампы для вольтоскопов — ВН1 и ВН2 и для указателей высокого напряжения — УВН1.

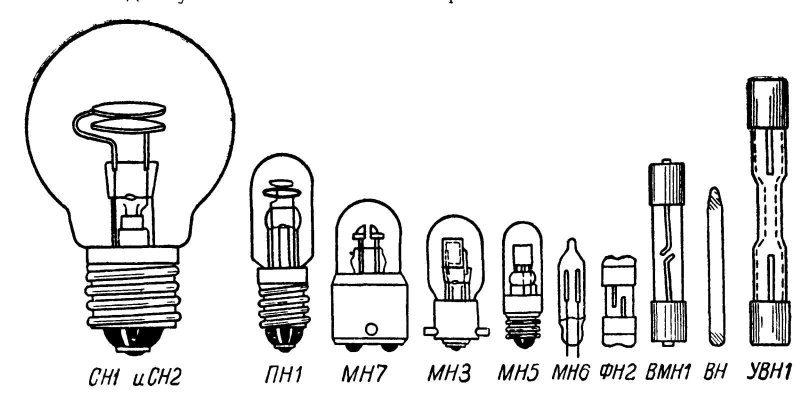


Рис. 7. Внешний вид некоторых типов неоновых ламп.

Внешний вид этих ламп показан на рис. 7. Кроме того, особую конструкцию имеет модуляторная лампа ТМН2, свечение у которой сосредоточено в одной точке, причем яркость свечения можно модулировать путем изменения тока. Основные параметры неоновых ламп приведены в табл. 1.

Лампы СН1 и СН2 имеют симметричные электроды и рассчитаны на подключение к источникам переменного тока промышленной частоты (50 *гц*) напряжением 220 или 127 *в*. Свечение газа наблюдается у обоих электродов. Необходимые для ограничения тока добавочные резисторы помещаются внутри самих ламп, поэтому эти две лампы могут быть включены непосредственно в электрическую сеть.

Лампы остальных групп не имеют балластных резисторов. Поэтому, как и для всех других ламп с холодным катодом, при включении ламп в какую-либо цепь во избежание ее порчи требуется последовательно с ней включить резистор, ограничивающий ток до допустимого предела.

Неоновые лампы переменного тока могут работать и на постоянном токе, но при этом напряжение зажигания увеличивается примерно в 1,4 раза. Лампы постоянного тока (МН3, МН6 и др.) имеют активированный катод (цезиевый или бариевый).

Следует отметить, что неоновые лампы сейчас используются не только как сигнальные. Их с успехом применяют в качестве активных элементов во многих устройствах: реле времени, усилителях импульсных сигналов, генераторах электрических колебаний, триггере и т. д. В этих случаях используется так называемый релейный эф-

фект, т. е. скачкообразное изменение выходной величины при плавном изменении входной.

Если изменять напряжение на лампе с включенным последовательно резистором R (рис. 8), то, когда $U_Б$ достигнет величины $U_з$ лампа зажигается и ток в цепи скачком возрастает. При уменьшении $U_Б$ ток плавно уменьшается. Лампа гаснет, когда питающее напряжение достигнет величины $U_п$, при которой ток в лампе становится меньше критической величины, необходимой для поддержания разряда. Приведенная характеристика зависимости тока от напряжения подобна характеристикам реле и поэтому называется релейной характеристикой.

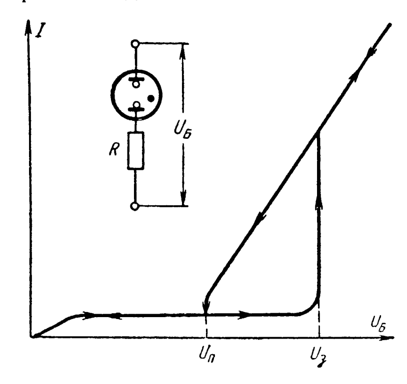


Рис. 8. Релейная характеристика диодного промежутка с последовательно включенным резистором.

Для того чтобы неоновую лампу использовать как импульсный усилитель, ее обычно включают под напряжение, меньшее, чем напряжение $U_з$, но большее, чем напряжение $U_п$. На вход подают пусковой импульс напряжения, который, складываясь с напряжением батареи, увеличивает напряжение на лампе до напряжения зажигания. Происходит разряд, и в цепи возникает импульс тока. Такое газоразрядное реле просто устроено и может коммутировать большие мощности.

Как все радиодетали, лампы с холодным катодом имеют определенный разброс параметров, величина которого может достигать 10—50%. Этот разброс в основном зависит от аккуратности изготовления ламп и степени чистоты исходных материалов.

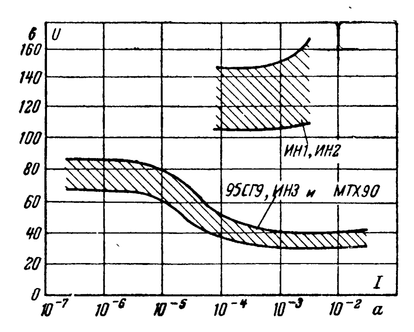


Рис. 9. Разброс вольт-амперных характеристик некоторых ламп с холодным катодом (для МТХ90 — между катодом и сеткой).

На рис. 9 приведена область такого разброса вольт-амперных характеристик ламп с холодным катодом. Такие же характеристики имеют промежуток сетка — катод трехэлектродных ламп МТХ90, а также диоды ИН3, имеющие активированный цезиевый катод.

В последние годы часть неоновых ламп получила новые названия — ТН0,2 — ТН30. В этих названиях цифры обозначают не порядковый номер разработки, а номинальный рабочий ток в миллиамперах.

Особую группу неоновых ламп составляют многоэлектродные цифровые индикаторные неоновые лампы типов

ИН1, ИН2 и др. Такие лампы содержат один или два анода и много катодов, выполненных в виде арабских цифр от 0 до 9 (рис. 10). Некоторые лампы имеют катоды в виде букв и других знаков («+», «—», «×», «:» и др.). В зависимости от того, на какой катод подано напряжение, будет гореть та или иная цифра или знак. Рабочий ток цифровых ламп 1,5—2,5 *ма*.

Для управления цифровой лампой на ее катод, соответствующий нужной цифре, необходимо подать отрицательный сигнал напряжением 50—100 *в* или более. Схема управления может быть

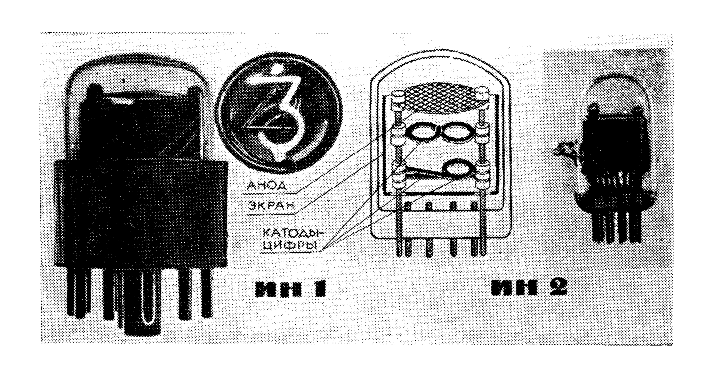


Рис. 10. Внешний вид индикаторных неоновых ламп.

выполнена на реле, электронных лампах, транзисторах. Наиболее экономичные схемы управления цифровыми лампами строятся на лампах с холодным катодом.

Существуют неоновые лампы, работающие в режиме дугового разряда. Такие лампы называются дуговыми неоновыми лампами. Параметры некоторых типов дуговых неоновых ламп приведены в табл. 2.

Таблица 2

Дуговые неоновые лампы

Тип лампы	Катод	Наполнение, газ	Давление, *мм рт. ст.*	Напряжение питания, *в*	Напряжение горения, *в*	Средний ток, *ма*	Мощность, *вт*
ДНК281	Оксидный	Неон	7	28	15	180	2,5
ДНК282	»	»	5	28	17	500	8
ДНК1151	»	»	7	115	30	160	4,5
ДНК1152	»	»	5	115	25	500	12
НД2	»	Неон+0,15% аргона	—	220	—	—	500

Стабилитроны

Газоразрядные стабилизаторы напряжения, или стабилитроны, по своей конструкции и технологии изготовления подобны неоновым лампам. Они имеют увеличенные размеры катода с целью увеличе-

ния рабочего тока. Для обеспечения большей стабильности при изготовлении стабилитронов проводится лучшая очистка исходных материалов и удлиненная до нескольких суток тренировка.

Стабилитроны работают в режиме нормального тлеющего разряда, при котором напряжение на электродах остается почти постоянным. Схема включения стабилитрона и его типовая характеристика показаны на рис. 11, *а* и *б*.

При достижении напряжения зажигания между электродами возникает тлеющий разряд и в цепи устанавливается ток, величина

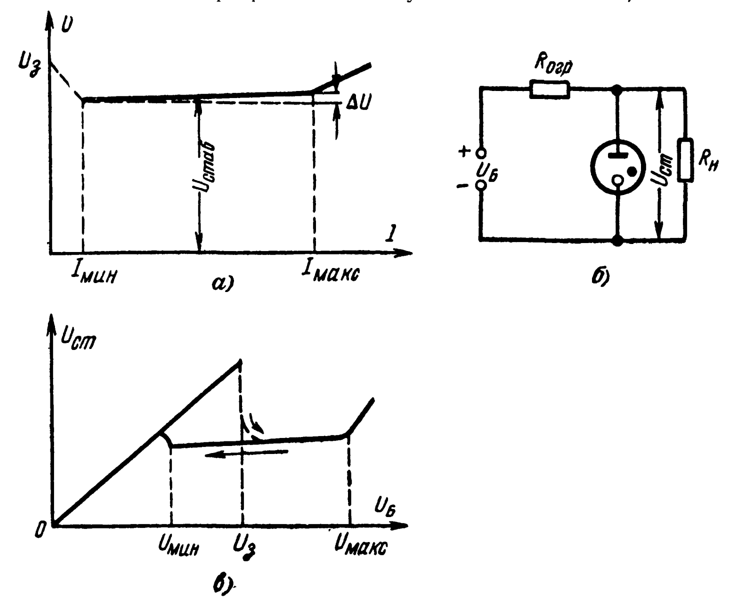


Рис. 11. Рабочий участок вольт-амперной характеристики стабилитрона (*а*), схема его включения (*б*) и характеристика стабилизации (*в*).

которого определяется сопротивлением ограничительного резистора $R_{огр}$. Для некоторой области токов от $I_{мин}$ до $I_{макс}$ напряжение на стабилитроне остается практически постоянным. Такое же напряжение устанавливается и на нагрузке $R_н$. При токе $I_{мин}$ отрицательное свечение покрывает только небольшую часть катода, и при последующем уменьшении тока разряд гаснет. При увеличении напряжения питания свечение активной (светящейся) части катода растет и при токе $I_{макс}$ покрывает весь катод. При дальнейшем увеличении напряжения источника питания нормальный тлеющий разряд переходит в аномальный и напряжение на лампе и нагрузке увеличивается. График зависимости напряжения на стабилитроне от напряжения источника питания приведен на рис. 11, *в*.

Токи $I_{мин}$ и $I_{макс}$, гарантируемая стабильность напряжения $U_{стаб}$ являются параметрами, определяющими область стабилизации, и указываются в паспорте прибора. Основные параметры отечественных стабилитронов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Стабилитроны
(перечислены в порядке возрастания рабочего напряжения горения)

Тип лампы	Материал катода	Наполнение и давление, *мм рт. ст.*	Наибольшее напряжение зажигания в течение срока службы, *в*	Запаздывание зажигания, *сек*	Рабочий ток, *ма*	Разброс напряжения горения вначале, *в*	Гарантируемая стабильность напряжения горения, *в*: при изменении рабочего тока	во времени	при изменении температуры на 1° С	Внутреннее сопротивление, *ом*	Допустимая емкость, *мф*	Ток утечки между катодом и анодом, *мка*	Рабочий диапазон температур, °С
СГ2С	Никель, активированный мишметаллом	Неон 99%, Аргон 1%, 30	110	—	5—40	70—80	6,0	68—83 за 500 *ч*	—0,006 %	180—260	—	10	От —60 до +70
СГ16П	Молибден	Аргон, гелий	130	—	5—30	80—86	3	±1,5 за 500 *ч* ±0,2 за 20 *ч*	±10 *мв*	—	—	—	От —60 до +90
СГ202Б	То же	Неон 99%, аргон 1%, 35	140	5	1,5—5	81—87	4,5	±1,5 за 500 *ч* ±0,1 за 20 *ч*	—6—10 *мв*	—	—	—	От —60 до +150
СГ201С	То же	Неон 99%, криптон 1%, 50	150	—	4—15	86—92	2,5	±1 за 500 *ч* ±0,2 за 50 *ч*	6 *мв*	220	—	—	От —60 до +100

Продолжение табл. 3

Тип лампы	Материал катода	Наполнение и давление, *мм рт. ст.*	Наибольшее напряжение зажигания в течение срока службы, *в*	Запаздывание зажигания, *сек*	Рабочий ток, *ма*	Разброс напряжения горения вначале, *в*	Гарантируемая стабильность напряжения горения, *в*			Внутреннее сопротивление, *ом*	Допустимая емкость, *мф*	Ток утечки между катодом и анодом, *мка*	Рабочий диапазон температур, °C
							при изменении рабочего тока	во времени	при изменении температуры на 1°C				
СГ15П	Молибден	Аргон, гелий	150	—	5—30	104—112	2,0	±2,5 за 500 *ч* ±0,4 за 20 *ч*	—	—	—	—	От —60 до +90
СГ2П	То же	Неон, аргон, криптон	150	—	5—30	104—112	3	±2,5 за 1 000 *ч*	—	100	0,1	—	От —60 до +90
СГ3С	Никель, активированный мишметаллом	Гелий 80 %, неон 10%, аргон 1%, 30	130	—	5—40	105—112	4	103—115 за 1 000 *ч*	±0,003%	80—120	—	10	От —60 до +70
СГ5Б	Никель	Гелий, аргон	190	—	5—10	142—157	4,5	±7 % за 500 *ч*	75 *мв*	800	—	10	От —70 до +90
СГ13П	То же	Гелий, аргон	175	—	5—30	143—155	3,5	± 3 за 1000 *ч*	—	—	—	—	От —60 до +90

Продолжение табл. 3

Тип лампы	Материал катода	Наполнение и давление, *мм рт. ст.*	Наибольшее напряжение зажигания в течение срока службы, *в*	Запаздывание зажигания, *сек*	Рабочий ток *ма*	Разброс напряжения горения вначале, *в*	Гарантируемая стабильность напряжения горения, *в*			Внутреннее сопротивление, *ом*	Допустимая емкость, *мф*	Ток утечки между катодом и анодом, *мка*	Рабочий диапазон температур, °С
							при изменении рабочего тока	во времени	при изменении температуры на 1° С				
СГ3П	Никель	Гелий, аргон	170	—	5—40	144—149	2						От —60 до +90
СГ1П	То же	Гелий, аргон	175	—	5—30	143—155	3,5	±5 за 2000 *ч*	±0,004%	160	—	—	+ 150 наибольший
СГ4С	То же	Гелий 99 %, аргон 1%, 30	185	—	5—30	145—160	4	142—163 за 500 *ч*	±0,018%	160—220	—	10	От —60 до +70
СГ301С	То же	Водород, 16—16,5	439	30	0,003—0,1	380—400	16	372—408 за 1 000 *ч*	+0,043%	20 *ком*	—	0,5	От —40 до +50
СГ302С	То же	Водород, 80—82	990	15	0,003—0,1	880—920	32	862—938 за 1 000 *ч*	+0,043%	40 *ком*	—	0,5	От —40 до +50
СГ3030	То же	Водород, 140—143	1 350	15	0,01—0,1	1 220—1 280	32	1 195—1 305 за 1 000 *ч*	+0,043%	75 *ком*	—	2	От —40 до +50

В последнее десятилетие появились водородные стабилитроны СГ301С (СГ7С), СГ303 (СГ9С) и др., в которых используется коронный разряд, позволяющий стабилизировать во много раз большее напряжение (380—1 200 *в*). Выпускаются также высоковольтные (1 *кв*) водородные стабилитроны тлеющего разряда СГ17С, СГ18С, СГ19С, в которых с целью снижения напряжения зажигания имеется третий электрод (пусковой анод). Опубликована литература о создании микроминиатюрных стабилитронов, имеющих керамический корпус. Такой корпус выдерживает повышенную температуру и поэтому позволяет во много раз уменьшить габариты при той же рассеиваемой мощности.

Кенотроны

В качестве выпрямителей переменного тока можно использовать газоразрядные диоды, электроды которых имеют различную конфигурацию и площадь. Электрод, имеющий большую поверхность (катод), обычно активируют. Схема включения газоразрядного кенотрона приведена на рис. 12, *а*.

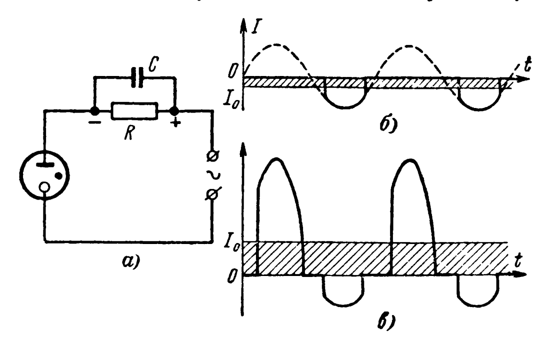


Рис. 12. Выпрямитель переменного тока на лампе с холодным катодом (*а*) и графики, поясняющие работу (*б* и *в*).

Выпрямляющее действие ламп с холодным катодом вызывается различием напряжения зажигания и внутреннего сопротивления лампы при различной полярности подводимого напряжения. В некоторых случаях разряд возникает только при одном полупериоде, как показано на рис. 12, *б*.

Различие в электропроводности лампы (рис. 12, *в*) вызвано, во-первых, тем, что работа выхода и эмиссия активированного катода значительно лучше, чем у анода (последний в выпрямительных лампах, например типа ТХ2, выполняется из графита); во-вторых, площадь поверхности катода намного больше площади анода. Поскольку ток при положительном анодном напряжении значительно больше тока при отрицательном анодном напряжении, происходит процесс выпрямления.

Современные высоковольтные кенотроны с холодным катодом, выдерживающие обратное напряжение 2 800 *в* и средний ток 8—12 *ма* (при амплитуде импульсов тока 40—100 *ма*), имеют диаметр 10 *мм* и длину 40—60 *мм*. В более мощных выпрямительных схемах используют другие типы ламп (экситроны, игнитроны и аркотроны).

Разрядники, тригатроны, импульсные лампы, строботроны

Под этими разными названиями объединены конструктивно сходные лампы, при использовании которых реализуется резкое, но кратковременное увеличение проводимости газа при возникновении самостоятельного тлеющего, дугового, импульсного, искрового или высокочастотного разряда.

Бóльшая часть импульсных и дуговых разрядников выполняется двухэлектродными. Тригатронами называются разрядники с управ-

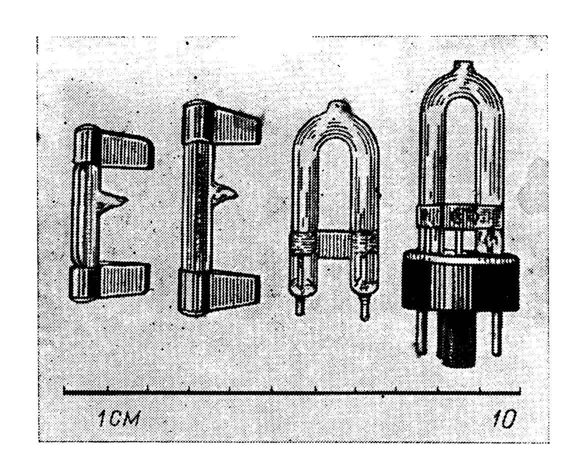


Рис. 13. Некоторые типы импульсных ламп.

ляющим электродом. Их применяют в модуляторах импульсных передатчиков. В трехэлектродном исполнении изготовляются сверхвысокочастотные разрядники, некоторые из которых объединены с собственным резонатором. Такие разрядники используются в качестве антенных переключателей.

В зависимости от рабочего напряжения указанные лампы наполняются газом при давлении от 30—50 *мм рт. ст.* до нескольких атмосфер. Импульсные лампы и строботроны обычно применяются как источники света, обладающие большой яркостью и действующие в течение весьма короткого промежутка времени. Эти лампы представляют собой стеклянную или кварцевую трубку или шаровую колбу, наполненную чаще всего наиболее тяжелым инертным газом — ксеноном. Некоторые низковольтные отечественные импульсные лампы показаны на рис. 13. Импульсная лампа имеет анод, активированный или неактивированный катод и поджигающий электрод, обычно расположенный на внешней поверхности разрядной трубки и выполненный в виде полоски, обоймы или нескольких витков проволоки.

Простейшая принципиальная схема включения импульсной лампы приведена на рис. 14. Батарея *Б* через резистор R_1 заряжает конденсатор C_1, питающий лампу. При сравнительно невысоком напряжении (несколько сотен вольт) между анодом и катодом зажигается искровой разряд, излучающий мощный световой импульс. Для

Таблица 4

Импульсные лампы

Тип лампы	Энергия вспышки, *дж*	Рабочее напряжение, *в*	Емкость питающего конденсатора, *мкф*	Средняя потребляемая мощность, *вт*	Минимальный интервал между вспышками, *сек*	Размеры светящейся части, *мм*	Внутреннее сопротивление лампы, *ом*	Напряжение зажигания, *в*	Напряжение самопроизвольного зажигания, *в*	Световая энергия, *лм·сек*	Длительность вспышки (по уровню 0,35 максимальной силы света), *мсек*	Фактор нагрузки, *мкф/кв*	Срок службы тысяч вспышек
ИФК20	20	130	2 500	2	10	∅7×10	0,16	100	700	200	0,2	1	10
ИФК50	50	200	2 500	5	10	∅7×20	0,32	140	1 000	700	0,4	6	10
ИФК120	120	300	2 500	12	10	∅7×23×30	1	180	1 000	2 500	1,2	25	10
ИФК500	500	500	4 000	30	15	∅30×45	4	400	3 500	10 000	8	250	10
ИФК2000	2 000	500	16 000	130	15	∅12×70×40	0,45	250	2 000	60 000	4	1 000	5
ИФБ300	300	300	6 500	40	7,5	∅65	2,5	240	1 500	5 000	8	250	10
ИФП20	200	1 250	250	27	7,5	∅8×200	2	1 100	1 900	3 500	0,4	600	3
ИФП500	500	1 800	300	65	7,5	∅8×300	3,5	1 500	2 700	12 000	1,3	3 200	3
ИФП1500	1 500	2 500	450	100	15	∅8×600	6	2 100	3 700	35 000	2,6	17 500	3
ИФП4000	4 000	2 000	2 000	270	15	∅8,5×800	8	1 700	3 000	120 000	12	32 000	3
ИФП15000	15 000	2 400	5 000	1 250	12	∅12×600	1,8	1 600	5 000	500 000	4,5	200 000	10
ИСТ10	0,01	500	0,08	10	0,001	∅7×23×30	1	180	1 000	Средняя сила света 0,5 *св*	0,07	—	20

образования такого разряда газа в лампе толчком ионизируют маломощным высоковольтным (порядка нескольких киловольт) запускающим импульсом напряжения от импульсного трансформатора *Тр* При замыкании синхроконтактов *СК* конденсатор C_2 разряжается через первичную обмотку повышающего трансформатора, и в цепи поджигающего электрода возникает очень слабая искра, ионизирующая газ в лампе.

В результате действия высоковольтного пускового импульса напряжение зажигания разряда в импульсной лампе по цепи «анод —

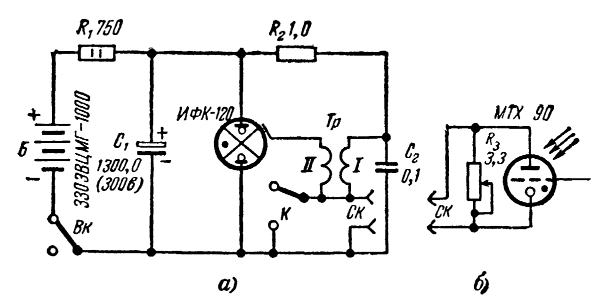


Рис. 14. Типовая схема включения импульсной лампы (*а*) и схема светосинхронизатора (*б*).

катод» уменьшается, и в импульсной лампе возникает мощный искровой разряд, канал которого вскоре заполняет все внутреннее сечение разрядной трубки Этот разряд продолжается до тех пор, пока конденсатор C_1, питающий лампу, не разрядится до напряжения погасания лампы.

В стадии сформировавшегося разряда плазма в импульсных лампах обладает активным сопротивлением порядка 1 *ом* или долей ома, благодаря чему в лампах может быть рассеяна почти вся энергия, запасенная в конденсаторе. Длительность вспышки лампы зависит от емкости конденсатора C_1 и колеблется от 10^{-2} до 10^{-6} *сек*. Основные данные импульсных ламп приведены в табл. 4.

Импульсные лампы широко применяются в фотографии, высокоскоростной киносъемке, для световой сигнализации, для запуска квантовых генераторов и в других схемах.

Тиратроны с холодным катодом

Общие замечания. Тиратроны с холодным катодом являются преимущественно приборами тлеющего разряда В отличие от неоновых ламп тиратроны имеют дополнительные электроды, с помощью которых влияют на напряжение зажигания разрядного промежутка анод — катод В настоящее время для электронных устройств выпускаются триоды, тетроды. а также многоэлектродные лампы с одним, или несколькими управляющими электродами. Последние предназначены для выполнения различных логических операций.

Основные параметры управляемых ламп с холодным катодом приведены в табл. 5. Внешний вид и конструкция основных типов тиратронов показаны на рис 15 и 16.

Лампа МТХ90. Триодное включение тиратронов. Малогабаритный триод с холодным катодом (МТХ90) представляет собой совокупность двух неоновых ламп с одним общим электродом. Он изготовляется в виде стеклянной колбочки диаметром 10—12 *мм* и высотой 28—32 *мм*. Расположение электродов в лампе МТХ90 показано

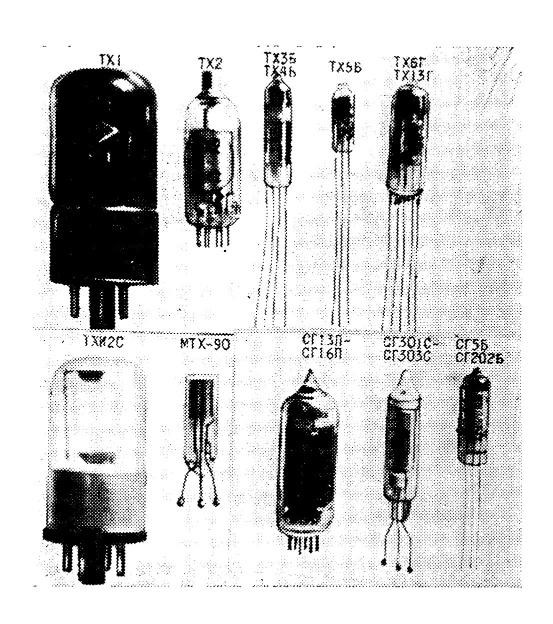


Рис. 15. Лампы с холодным катодом.

на рис. 16 Катод *К* представляет собой тонкий никелевый цилиндр диаметром 8 *мм* и длиной 12 *мм*. Внутренняя поверхность цилиндра окислена и активирована цезием. Анод *А* изготовляется из молибденовой проволоки диаметром 0,5—0,6 *мм*, которая служит продолжением среднего ввода. Управляющий электрод *С* изготовляется в виде цилиндра, и его называют сеткой.

Сетка расположена вблизи катода так, чтобы напряжение зажигания разряда между ней и катодом было меньше, чем между анодом и катодом.

Благодаря цилиндрической форме катода МТХ90 и большой его поверхности распыленные во время работы частицы катода оседают вновь на поверхность катода Все это увеличивает срок службы лампы при больших токах. Плоский и прозрачный торец баллона позволяет использовать тиратрон в индикаторных целях при установке МТХ90 на лицевых панелях приборов. Сейчас для таких приборов куполу баллона придается форма линзы.

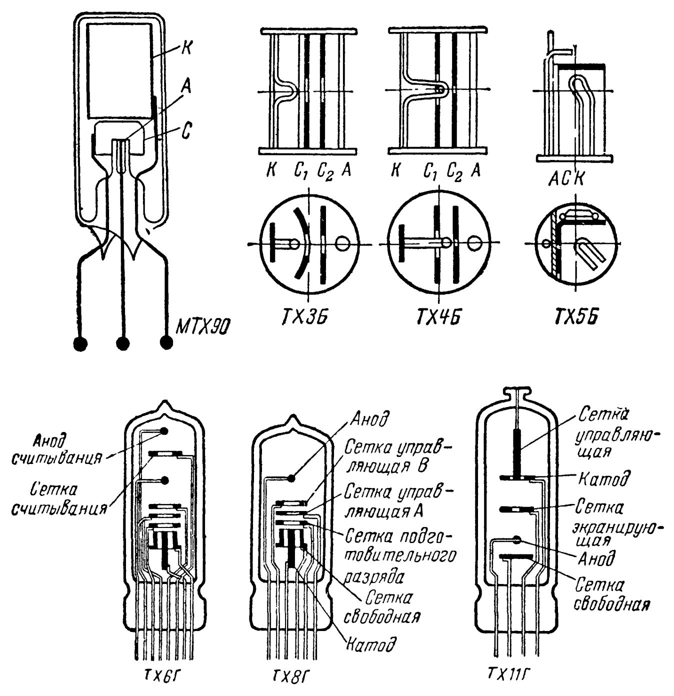


Рис. 16. Устройство тиратронов МТХ90, ТХ3Б, ТХ4Б, ТХ6Г, ТХ8Г, ТХ11Г.

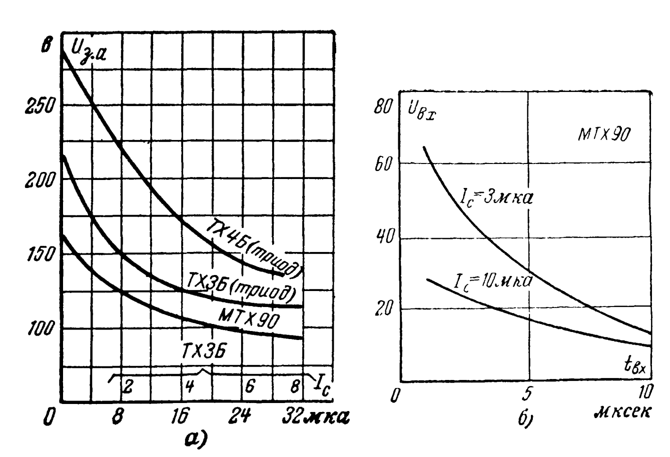


Рис. 17. Характеристики тиратронов.

а — токовые пусковые характеристики, *б* — динамическая входная характеристика.

Основные параметры многоэлектродных

Тип лампы	Количество входов (управляющих сеток)	Разброс сеточного напряжения зажигания U_c, *в*	Управляющий импульс		Анодное питающее напряжение U_a, *в*	Амплитуда выходного сигнала, *в*
			Амплитуда, *в*	Длительность, *мксек*		
МТХ90	1 а)	65—85(90)	25—50	20	85—200	20—150
	б)	I_c=3 *мка*	5—25	10	85—150	20—100
		I_c=10 *мка*	1,5—15	10		
ТХ1	1	65—85(95)	30—100	10^3	100—150	15—85
ТХ2	1	150—300	200	10^3	200—350	50—270
ТХ3Б	1	65—75(63—77)	25—40	10	175	65
ТХ4Б	1 а)	87—95(86—96)	20—80	10	150—180	25—70
	б)	I_c=10 *мка*	2—10	10		
ТХ5Б	1	I_c=15 *мка*	1,2—6	10	175—225	15—100
ТХ6Г	3	55—95, 60—100	120	20	270—300	100—170
ТХ7Г	2	50—80	100	10	270—300	130—180
ТХ8Г	2	40—70, 90—110	100	25	270—300	130—180
ТХ9Г	3	40—80, 90—110	100	35	270—300	130—180
ТХ11Г	1	100—125	35—125	10^7	200—230	75—105
ТХ12Г	1	65—105 (108)	75	10	250—275	90—160
ТХ13Г	1	65—100 (110)	70	1	180—220	60—140
ТХИ1Г	1	30—90	120	100	205—275	100—175
ТХИ2С	2	75—150	160	120	180—300	40—280

Примечания. 1. В таблице приведены экспериментально полученные
2. Данные ламп МТХ90 и ТХ4Б даны для двух режимов а) потенциаль
3. Лампа ТХ2 выдерживает обратное напряжение — 2 800 *в* при 0,6 *ма* и
4. Лампы ТХ3Б, ..., ТХ13Г, ТХИ1Г требуют начального напряжения на порциональна току в третьей степени.

Принцип работы тиратрона МТХ90 таков На основной разрядный промежуток анод — катод подается питающее напряжение E_0, удовлетворяющее условию $U_{г.а}<E_0<U_{з.а}$, где $U_{з.а}$ и $U_{г.а}$— напряжения зажигания и горения промежутка анод — катод соответственно. При таком напряжении в анодной цепи разряд самопроизвольно не зажигается, но зажженный разряд будет гореть.

Если теперь подать пусковое напряжение на сетку, то в управляющем промежутке сетка — катод зажигается разряд и в цепи сетки под действием напряжения пускового сигнала возникает ток самостоятельного разряда. Часть электронов из пространства между сеткой и катодом будет диффундировать в пространство между анодом и катодом, создавая там начальную проводимость. При этом разряд в цепи сетки является как бы внешним ионизатором для разрядного промежутка анод — катод Чем больше ток сетки I_c, тем больше начальная проводимость промежутка анод — катод и тем меньше напряжение зажигания этого промежутка $U_{з.а}$.

Зависимость между током сетки и напряжением зажигания по цепи анода $U_{з.а}=f(I_c)$ называют пусковой токовой харак-

Таблица 5

ламп с холодным катодом

Фронт выходного сигнала, *мксек*	Время деионизации (восстановления), *мксек*	Анодный ток, *ма*		Гарантируемая долговечность при указанном среднем токе, *ч*	Критерий долговечности
		минимальный	максимальный		
1 1	100—800	0,05	35 (500)	5 000(2 *ма*) 2 500(4 *ма*)	$U_с \leqslant 90$ *в*; $I_з \geqslant 6$ *мка* при 120 *в*
10	1 000	0,1	30	100(30 *ма*)	$U_с = 95$ *в*
10	500	5	100	500(12 *ма*) 1 000(6 *ма*)	$U_г = 160$ *в*
1—4	50—150	0,05	5	5 000(2,5 *ма*)	$U_с = 63—77$ *в*
1—4	20—100	0,05	7 (70)	1 500(3,5 *ма*)	$U_с = 86—96$ *в*
1—4		0,05			
1—4	30—100	0,05	1,5	5 000(0,25 *ма*)	$U_с = 155$ *в*
10	100—200	0,1	2	5 000(1 *ма*)	$U_с \leqslant 95$ *в*
1	100—200	0,1	2	5 000(1 *ма*)	$U_с \leqslant 80$ *в*
1	100—200	0,1	2	5 000(1 *ма*)	$U_с \leqslant 70(110)$ *в*
1	100—200	0,1	2	5 000(1 *ма*)	$U_с \leqslant 80(110)$ *в*
	1—7 *сек*	0,1	10	100(10 *ма*)	$U_с \leqslant 125$ *в*
2	~350	0,1	10(100)	1 000(10 *ма*)	$U_с = 65—108$ *в*
0,5	5—20	0,05	5	5 000(1 *ма*)	$U_с = 110$ *в*
	—	25 000	60 000	1 *ч* (40 *а* 10^3 *имп*)	$U_с = 30—90$ *в*
	~1 000	0,2	200 000	500 *ч* (50 *а*, 5×10^8 *имп*)	$U_а = 225—300$ *в*

данные, которые в некоторых случаях отличаются от паспортных данных.
ного; б) самостабилизированного импульсного
температуру баллона +150° С.
сетках (подаваемого, например, через делители). Долговечность обратно про-

теристикой тиратрона. Усредненная пусковая характеристика для МТХ90 приведена на рис. 17, *а*.

Таким образом, током сетки в несколько микроампер можно в цепи анода зажечь разряд и возбудить там ток до нескольких десятков миллиампер, а при коротком импульсе — до десятых долей ампера, т е тиратрон позволяет увеличить сигнал по току в тысячу раз и более.

Возникший разряд по цепи анода не может быть погашен последующим уменьшением тока сетки или даже подачей отрицательного напряжения на сетку. Последнее объясняется тем, что положительные ионы, заполняющие лампу, нейтрализуют отрицательный потенциал сетки. Для того чтобы погасить разряд в цепи анода, необходимо уменьшить анодное напряжение до значения, меньшего напряжения горения $U_{г.а}$. Возможны и другие способы гашения, о них будет сказано ниже.

Для стабилизации зажигания тиратрона сетку через большое сопротивление соединяют с положительным полюсом источника питания (см. рис. 24, *г*). При таком включении в цепи сетки возбуждается самостоятельный тихий разряд, величина тока которого

ограничивается резистором и устанавливается несколько меньше пускового тока, зажигающего разряд в анодном промежутке. Этот ток сетки называют **током подготовки**. Ток подготовки создает в лампе начальную ионизацию и этим стабилизирует время зажигания разряда. Если в лампе не имеется некоторой начальной ионизации, то разряд в лампе возникнет через неопределенное время, в результате чего лампа не каждый раз успеет сработать от коротких импульсных сигналов.

Однако на свету лампа МТХ90, имеющая активированный катод, может работать без тока подготовки, так как начальная ионизация в лампе может возбуждаться за счет действия квантов света, выбивающих электроны из цезиевого катода Другие же лампы с чистометаллическими катодами, без тока подготовки практически работать не могут, ибо без него всегда неизбежны случайные отказы в срабатывании, даже при пусковых импульсах большой длительности (порядка секунд).

Ток подготовки в триодном включении позволяет повысить чувствительность ламп, т. е уменьшить величину входного импульса, подаваемого через конденсатор *С*. Пусть, например, на анод МТХ90 подано напряжение 100 *в*. Из среднего значения пусковой характеристики (рис. 17, *а*) следует, что для зажигания анодного промежутка без тока подготовки необходимо в цепи сетки возбудить за счет входного импульса ток 20 *мка* При наличии же тока подготовки, например, 3 *мка* на долю входного импульса приходится лишь 17 *мка*.

Уместно заметить, что при расчете схем на работу от коротких пусковых импульсов длительностью меньше 10—15 *мксек* необходимо пользоваться динамическими входными характеристиками (рис. 17, *б*). Как правило, при одном и том же токе подготовки с уменьшением длительности пускового импульса его амплитуда напряжения увеличивается

Лампы ТХ3Б и ТХ4Б. Тетродное включение тиратронов. Тиратроны ТХ3Б и ТХ4Б называют тетродами, так как они имеют четыре электрода: анод, катод и две сетки. Одна сетка является управляющей, а вторая применяется лишь для создания тока подготовки. Конструкция этих ламп почти одинакова и характеризуется параллельным расположением электродов вдоль оси баллона.

Электроды ламп укрепляются на слюдяных дисках (рис. 16). Катод представляет собой молибденовую пластину, к которой приваривается проволока, изогнутая в центральной своей части в виде петли. Эта выступающая часть катода направлена в сторону первой сетки и служит для фиксации подготовительного разряда. Сетки представляют собой сплошные никелевые пластины с маленькими отверстиями в центральной части напротив выступа катода.

Анод лампы выполнен из никелевой проволоки. У лампы ТХ4Б выступающая часть катода входит в отверстие сетки. Прохождение анодного тока в лампах сопровождается свечением, которое наблюдается со стороны боковой поверхности баллона. Со стороны купола свечение видно только у лампы ТХ4Б.

Принцип работы ламп ТХ3Б и ТХ4Б в тетродном режиме таков. В промежутке первая сетка — катод зажигают разряд и возбуждают ток подготовки порядка единиц или десятков микроампер. При этом потенциал первой сетки положителен и имеет значение 60—100 *в*. На вторую сетку подается также положительное относительно катода напряжение (смещение), которое на несколько десятков вольт ниже напряжения на первой сетке. В результате между

сетками создается сильное тормозящее электрическое поле, препятствующее движению электронов от катода к аноду даже при значительном напряжении на аноде (100—200 *в*).

Если постепенно повышать потенциал второй сетки, то тормозящее поле будет ослабляться и при некотором потенциале, близком к потенциалу первой сетки, уменьшается настолько, что наиболее быстрые электроны преодолеют это поле и попадут в ускоряющее поле анода. Двигаясь в ускоренном поле анода, они приобретают кинетическую энергию, достаточную для интенсивной ударной ионизации, что приводит к зажиганию тлеющего разряда в цепи анода.

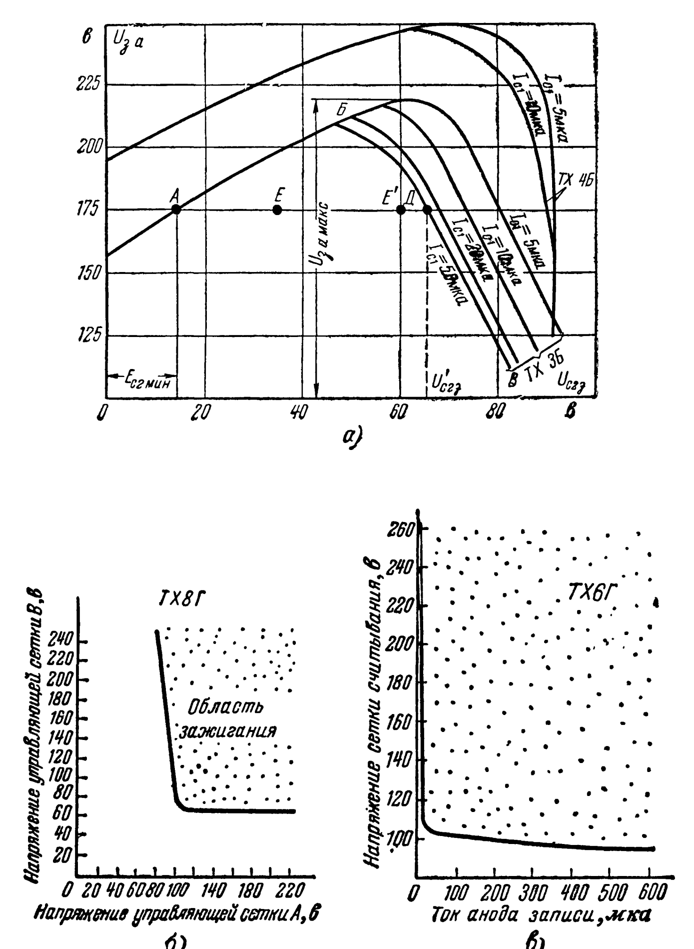


Рис. 18. Потенциальные пусковые характеристики тиратронов ТХ3Б и ТХ4Б (*а*), характеристики зажигания тиратрона ТХ8Г (*б*) и ТХ6Г (*в*).

При подаче на анод более высокого напряжения ускоряющее поле анода, проникая через отверстия сеток, ослабляет тормозящее поле между сетками. В результате зажигания разряда в анодной цепи происходит при потенциале на второй сетке, меньшем, чем в первом случае. Следовательно, каждому значению анодного напряжения соответствует строго определенное напряжение на второй сетке $U_{с2з}$, при котором зажигается разряд в цепи анода. Таким образом, изменяя потенциал на второй сетке, можно управлять напряжением зажигания в анодной цепи, поэтому такой способ управления условно называется «потенциальным».

График зависимости между напряжениями на аноде $U_{з\,а}$ и на второй сетке $U_{с2з}$, при которых зажигается разряд в анодной цепи, называют потенциальной пусковой характеристикой тетродов. Семейство усредненных пусковых характеристик при различных токах подготовки $I_{с1}$ тиратронов ТХ3Б и ТХ4Б приведено на рис. 18, *а*.

У разных образцов ТХ3Б и ТХ4Б разброс этих характеристик не превышает 5—10%.

Следует заметить, что зажечь тиратрон можно изменением каждой из величин $U_{с2}$, $U_а$, $I_{с1}$ в отдельности, попарно или всех трех одновременно. Это позволяет использовать такие тиратроны в качестве каскада совпадения (схемы И) на два и даже три входа.

Тетроды ТХ3Б и ТХ4Б могут применяться и в триодном включении. Для этого обе сетки соединяют между собой накоротко. Токовые пусковые характеристики этих ламп в триодном включении приведены на рис. 17, *а*.

Лампа ТХ1 предназначается для низкочастотных релейных схем Ее катод и управляющий электрод имеют одинаковую конструкцию, поэтому их можно менять местами, что позволяет строить ряд необычных схем Другие лампы такой особенностью не обладают. Разрядный промежуток чувствителен к свету, поэтому стеклянный баллон покрыт черным лаком Ввиду больших размеров эти лампы широкого распространения не получили

Лампа ТХ2 выполнена в пальчиковом оформлении. Предназначается в основном для высоковольтных выпрямителей, выдерживает обратное напряжение до 2 800 *в*. Широкого распространения не получила вследствие большой величины сеточного напряжения зажигания.

Лампа ТХ5Б является триодом Катод изготовляется из молибденовой проволоки диаметром 0,4 *мм*, изогнутой таким образом, чтобы выступ катода был расположен против отверстия в сетке. Сетка выполняется в виде диска с отверстием диаметром 0,4 *мм*. Анод представляет собой никелевую проволоку, изогнутую в виде буквы Г. Необходимое напряжение питания 175—250 *в*. Такое повышенное напряжение позволяет получать импульсы значительной амплитуды, используемые, например, для запуска декатрона. Свечение лампы во время прохождения анодного тока довольно яркое и может быть использовано для целей индикации.

Лампа ТХ8Г является тиратроном тлеющего разряда и предназначается для выполнения логической операции И. Кроме анода и катода, лампа имеет группу электродов для управления зажиганием — сетку подготовительного разряда и две управляющие сетки. Катод лампы выполнен из молибдена; тиратрон наполняется неоном. Управление возникновением анодного тока в тиратроне основано на том, что напряжение зажигания разряда между анодом и катодом снижается при возрастании концентрации начальных электронов. Источником начальных электронов служит разряд между сеткой под-

готовительного разряда и катодом. Прохождение электронов к аноду определяется тормозящим полем, созданным совместным действием двух управляющих сеток. Зажигание происходит при уменьшении тормозящего потенциала, т. е. при повышении напряжений до пороговых значений одновременно на обеих сетках. Характеристика зажигания тиратрона изображена на рис. 18, *б*. Характеристика зажигания такой формы позволяет реализовать на одном тиратроне схему совпадения.

Запаздывание импульса тока анода относительно сигналов на управляющих сетках имеет сравнительно малую величину (10^{-5} *сек*) из-за большой концентрации начальных зарядов, создаваемых подготовительным разрядом Вместо величины запаздывания могут указываться минимальные длительности входных сигналов.

Свечение красного цвета наблюдается со стороны купола лампы и с боковой стороны.

В том случае, когда напряжения сигналов существенно превышают пороговые значения, величина сеточного тока определяется амплитудой сеточного напряжения, сопротивлением резистора в сеточной цепи и напряжением на промежутке управляющая сетка — катод.

Тиратрон тлеющего разряда типа ТХ6Г предназначен для выполнения логической операции «Память». Этот тиратрон состоит из двух элементов, один из которых служит для записи информации, а другой — для считывания. Элемент записи представляет собой тиратрон, выполняющий операцию И способом, осуществленным в лампе типа ТХ8Г. Разряд между анодом и катодом элемента записи служит источником начальных электронов для следующего промежутка, в котором имеются своя управляющая сетка и анод для считывания информации. В элементе считывания зажигание определяется тормозящим полем этой управляющей сетки. При повышении напряжения на сетке до критического значения разряд на анод считывания возникает только в том случае, когда проходит анодный ток в элементе записи (рис. 18, *в*) Считывание может производиться многократно, так как прохождение импульса тока в цепи анода считывания не вызывает стирания (т. е. гашения разряда в элементе записи).

Конструкция тиратрона подобна конструкции ТХ8Г.

Электрометрический тиратрон тлеющего разряда типа ТХ11Г предназначен для регистрации малых токов (нижний предел 10^{-10}—10^{-11} *а*).

Применяется для усиления сигналов, вырабатываемых высокоомными датчиками (ионизационными камерами, фотоэлементами), и в таймерах на большие интервалы времени. Катод лампы выполнен из молибдена, тиратрон наполняется неоном с добавлением 1% аргона.

Электрометрический тиратрон отличается от других тиратронов тлеющего разряда меньшей величиной предразрядного тока и тока утечки. Малые токи сетки определяют возможность заряда емкости конденсатора, включенного между сеткой и катодом лампы регистрируемым током величиной 10^{-10}—10^{-11} *а*. Когда напряжение на сеточном промежутке достигает напряжения зажигания, происходит разряд этого конденсатора. Амплитуда импульса разрядного сеточного тока значительно превышает регистрируемый ток. Сеточный импульсный разряд служит источником начальных электронов. При достаточных напряжениях на экранирующей сетке и аноде электроны проходят к аноду и вызывают зажигание по анодной цепи.

Для уменьшения предназначенного тока сетки уровень начальной ионизации должен быть достаточно низким. Небольшая начальная ионизация, необходимая для снижения статистического запаздывания зажигания, создается радиоактивным источником малой мощности, помещаемым внутри баллона лампы. Уменьшение тока утечки по изоляторам достигается удалением вывода сетки от выводов других электродов (сетка выводится через купол баллона), покрытием внешней поверхности стеклянной колбы гидрофобизирующим составом, созданием развитой поверхности внутриламповых изоляторов.

Свечение тиратрона наблюдается со стороны боковой поверхности.

В табл. 5 указана длительность входного сигнала для выходного сопротивления датчика сигналов $5 \cdot 10^{10}$ *ом* и емкости накопительного конденсатора между сеткой и катодом (30 *пф*). При малой постоянной времени входной цепи длительность входного сигнала может быть менее 2 *сек* Она может быть уменьшена до 0,1 *сек* путем создания слаботочного подготовительного разряда между анодом и свободной сеткой, которая в этом случае соединяется с катодом через резистор сопротивлением 10^8—10^9 *ом*. Долговечность дана в соответствии с техническими условиями при постоянном анодном токе 10 *ма*. В реальных условиях рабочим режимом является ждущий режим, и ожидаемый срок службы ламп составляет несколько лет.

Лампа ТХ12Г по сравнению с ТХ4Б имеет несколько увеличенный анодный средний (10 *ма*) и максимальный ток (100 *ма* против 70 *ма* при длительности 0,1 *мсек*).

Лампа ТХ13Г имеет время срабатывания 1 *мксек* и время восстановления 5 *мксек* и, за исключением водородных ламп, является наиболее быстродействующей.

Импульсные лампы ТХИ1Г и ТХИ2С работают в режиме импульсного дугового разряда и позволяют получать импульсы тока 60 и 200 *а* при его длительности в несколько микросекунд.

Некоторые динамические характеристики. Для зажигания любой газоразрядной лампы необходимо не только поднять напряжение на ее электродах несколько выше напряжения зажигания. Необходимо еще, чтобы источник пусковых сигналов обеспечил ток, необходимый для зажигания разряда. Хотя этот ток очень мал (например, у тетродов 0,1—15 *мка*), но тем не менее для его возбуждения требуется некоторое время. Этим объясняется инерционность ламп. На рис. 19, *а* показана зависимость времени запаздывания зажигания разряда в цепи анода ($t_{а.з}$) от анодного напряжения ($U_а$) при различных амплитудных значениях напряжения входного сигнала в цепи сетки ($U_{вх}$). Очевидно, чем больше напряжение входного сигнала, а также чем больше начальная ионизация в лампе, тем интенсивнее происходит лавинообразная ионизация и разряд формируется быстрее. В результате при большой амплитуде длительность пускового импульса может быть уменьшена.

Для примера на рис 17, *б* приведена зависимость амплитуды необходимого пускового импульса $U_{вх}$ от его длительности при различных токах подготовки для случая, когда лампа МТХ90 работает в самостабилизированном режиме, а форма импульсов прямоугольная. Для других форм импульса значение $U_{вх}$ необходимо увеличить.

Тиратроны ТХ3Б и ТХ4Б имеют более высокую чувствительность, чем МТХ90. Минимальное значение $U_{вх}$ для ТХ3Б составляет 4—6 *в*,

а для ТХ4Б — 3—4 *в*. Последние имеют и значительно меньший разброс входных динамических характеристик.

Чтобы подготовить тиратрон к регистрации следующего пускового импульса, необходимо лампу возвратить в исходный режим или, как говорят, восстановить пробивную прочность. А для этого также необходимо время.

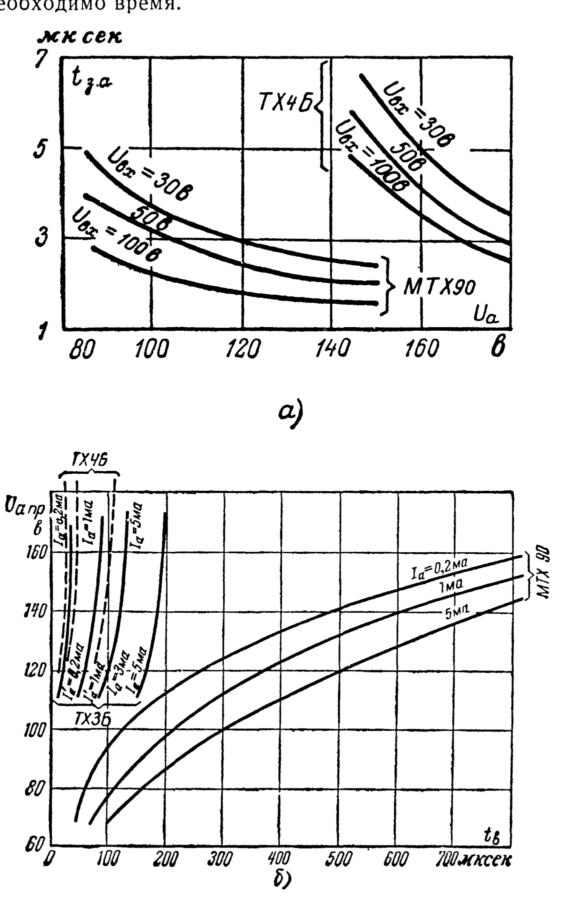


Рис. 19. Характеристики запаздывания зажигания разряда в цепи анода (*а*) и характеристики восстановления пробивной прочности анодного промежутка тиратронов (*б*).

Пока в тиратроне происходит процесс деионизации, его пробивное напряжение (или напряжение зажигания по анодной цепи) повышается тем больше, чем больше времени прошло с момента потухания разряда. Зависимость пробивного напряжения по цепи анода ($U_{а.пр}$) от времени, прошедшего с момента погасания тиратрона

($t_в$), называют характеристикой восстановления. Такие характеристики тиратронов при различных значениях анодного тока $I_а$ в момент потухания разряда приведены на рис. 19, *б*. Из этих характеристик видно, что процесс деионизации в тиратроне ТХ4Б протекает быстрее, чем в лампах ТХ3Б и МТХ90 В тиратронах ТХ13Г время восстановления лежит в интервале 1—10 *мксек*.

С учетом приведенных динамических характеристик тиратроны МТХ90, например, могут устойчиво работать только на частотах не выше 5—10 *кгц*.

Наиболее быстродействующие современные лампы с водородным наполнением имеют время срабатывания 0,1—0,3 *мксек*, а время восстановления 0,5—0,7 *мксек* Такие лампы обеспечивают около миллиона срабатываний в секунду.

Другие лампы с холодным катодом

Экситроны и игнитроны представляют собой мощные приборы с ртутным жидким катодом Испаряющаяся ртуть одновременно обеспечивает газовое наполнение колбы. Такой катод и наполнение позволяют в течение большого срока службы легко получать токи от единиц до тысяч ампер при падении напряжения 10—20 *в* и амплитудном прямом и обратном напряжениях до нескольких тысяч вольт. Экситроны, кроме одного или нескольких главных анодов, имеют вспомогательные аноды возбуждения, а иногда и управляющие сетки. На последние подаются запирающее напряжение и положительный сигнал, который в нужный момент вызывает зажигание экситрона. Аналогичным образом работает игнитрон, который отличается тем, что вместо сетки в нем применен полупроводниковый зажигатель (игнайтерж), частично погруженный в ртуть.

Ртутный катод и наполнение смесью других газов применяются также в некоторых типах тригатронов и в некоторых сигнальных неоновых лампах с целью увеличения их долговечности.

Аркотроны — небольшие лампы с твердым холодным катодом — созданы для получения средних рабочих токов порядка единиц ампер. Аркотроны имеют управляющую сетку для зажигания разряда маломощным сигналом и вспомогательную сетку для создания начального подготовительного тока 10—20 *ма*.

Декатроны — газоразрядные лампы тлеющего разряда, специально разработанные для использования в счетных схемах. В этом приборе вокруг цилиндрического анода расположено десять рабочих катодов. Разряд с одного катода может переводиться поочередно на следующие катоды с помощью подачи внешних управляющих импульсов на такие же вспомогательные электроды (подкатоды), расположенные между рабочими.

Газонаполненные фотоэлементы с кислородно-цезиевым катодом (например, ЦГ3, ЦГ4) относятся также к категории ламп с холодным катодом. Эти фотоэлементы работают в области несамостоятельного тихого разряда. Чувствительность таких фотоэлементов выше чувствительности вакуумных фотоэлементов. Это объясняется тем, что по пути к аноду фотоэлектроны образуют лавины вторичных электронов и фототок возрастает Во избежание распыления тонкого светочувствительного слоя фотокатода зажигание разряда в газонаполненных фотоэлементах не допускается.

Газоразрядные счетчики элементарных частиц тоже можно назвать лампами с холодным катодом. Существует много типов счетчиков. Одни из них работают в области несамостоятельного разряда

(ионизационные камеры, пропорциональные счетчики), другие в области самостоятельного тихого импульсного разряда, вызываемого каждой регистрируемой частицей.

Газоразрядные лазеры, крайтроны, механотроны, некоторые ионизационные манометры также являются приборами с холодным катодом. И это далеко не полный перечень их.

Выбор ламп и режима их работы

При большом числе типов ламп одинакового назначения возникает трудная задача — какой из многих типов ламп выбрать для своей аппаратуры Здесь действует много факторов, как объективных, так и субъективных.

Обычно каждая лампа имеет свои достоинства и недостатки, которые нужно учитывать при выборе типа ламп для тех или иных схем.

Несколько облегчить задачу правильного выбора типа ламп может всестороннее изучение сравнительных таблиц их параметров.

Большое значение имеет выбор правильного режима ламп. В качестве примера рассмотрим, как по пусковым характеристикам выбирается исходный режим наиболее сложных ламп, например тиратрона ТХ3Б в тетродном режиме. Пусть известно напряжение источника питания анодной цепи $E_0=175$ *в*. Необходимо выбрать ток подготовки I_{c1}, начальное напряжение на второй сетке E_{c20}, а затем определить напряжение зажигания U_{c23} и амплитуду входного импульса.

Учитывая, что чем больше I_{c1}, тем меньше U_{c23}, выбираем ток подготовки $I_{c1}=50$ *мка*.

До зажигания разряда по аноду ток анода равен нулю, поэтому напряжение на аноде $U_a=E_0=175$ *в*.

Из пусковой характеристики (рис 18, *а*) следует также, что допустимое минимальное напряжение по второй сетке определяется точкой *А*. При напряжениях меньше чем $E_{c2мин}$ лампа будет зажигаться.

Для определения U_{c23} на семействе пусковых характеристик проводим горизонтальную линию $U_a=175$ *в*. Точка *D* пересечения этой прямой с пусковой характеристикой, соответствующей $I_{c1}=$ $=50$ *мка*, определяет искомое напряжение зажигания $U'_{c23}=67$ *в* (как проекция точки *D* на ось U_{c23}). Начальное напряжение смещения E_{c20} выбирается между точками *А* и *D*.

Для уменьшения амплитуды входного импульса целесообразно брать $E_{c20}=(0{,}8\div 0{,}9)\ U'_{c23}$. Поэтому выбираем $E_{c20}=0{,}9\cdot 67=60{,}3$ *в* (точка *Е'*). При таком значении E_{c20} для зажигания тиратрона необходимо увеличить напряжение на второй сетке от E_{c20} до U'_{c23}, т. е. $U_{вх.мин}\approx 7$ *в*.

С учетом разброса отпирающего сеточного напряжения (63—77 *в*) для надежного зажигания амплитуду входного импульса необходимо брать равной 25—40 *в* (если продолжительность импульса больше 10 *мксек*).

Для более коротких импульсов амплитуда импульса должна быть увеличена еще больше, что определяют по входным динамическим характеристикам.

Глава третья

ПРАКТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ КОНТРОЛЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ЛАМП С ХОЛОДНЫМ КАТОДОМ

Схемы для измерения основных параметров и характеристик разрядных промежутков

Измерения напряжения зажигания и напряжения горения. Эти параметры являются основными, и проверка их крайне необходима. В справочных же таблицах приводятся обычно лишь усредненные значения или одна из двух предельных величин.

Измерения можно производить с помощью схемы, ранее приведенной на рис. 1, *а*. В этой схеме в качестве измерительных приборов можно использовать широко применяемые в радиолюбительской практике ампервольтомметры. Если имеется в наличии статический или высокоомный вольтметр, то он подключается так, как показано, пунктиром. Миллиамперметр *А* и резистор R_1 подбираются с учетом величины тока в лампе, допускаемой техническими условиями. Напряжение источника питания $U_Б$ должно быть на несколько десятков вольт больше напряжения зажигания лампы; в качестве источника питания можно использовать как гальваническую батарею, так и выпрямитель с фильтром. Напряжение на лампу подают через потенциометр. Можно использовать как высокоомный лабораторный потенциометр, так и переменные резисторы типа СП с допустимой мощностью рассеяния 2 *вт*. В последнем случае сопротивление переменного резистора должно быть не менее $U_Б^2/2$.

Измерения проводятся в следующем порядке. При плавном увеличении напряжения, снимаемого с потенциометра, в некоторый момент в лампе зажигается разряд и прибор *А* покажет ток. При этом показания вольтметра $U_л$ скачком уменьшатся на величину падения напряжения на резисторе R_1. Максимальное показание вольтметра $U_л$ в момент зажигания разряда соответствует напряжению зажигания разряда в лампе $U_з$. Показание вольтметра, установившееся после зажигания разряда, соответствует напряжению горения лампы $U_г$ при токе *I*.

Напряжения зажигания и горения можно определить и с помощью низкоомного вольтметра, потребляющего ток порядка десятков миллиампер. Измерительная схема при использовании такого вольтметра такая же, как и на рис. 1, *а*, причем вольтметр обозначен $U_Б$. Напряжение зажигания так же, как и в предыдущем варианте, определяется непосредственно по вольтметру $U_Б$ в момент скачка тока в цепи лампы. Включение вольтметра до резистора нагрузки R_1 почти не влияет на определения напряжения $U_з$, так как ток несамостоятельного разряда, предшествующий зажиганию, ничтожно мал (порядка 10^{-5} *а*). Напряжение горения в этом случае определяется по формуле $U_г = U_Б - IR_1$. Значение тока *I* определяется по показаниям амперметра *А*

Измерения напряжения гашения разряда. Напряжением гашения разряда принято считать напряжение, подаваемое на лампу и сопротивление нагрузки, в момент гашения разряда. Величина этого напряжения зависит от свойств лампы. При использовании схемы (рис. 1, *а*) напряжение гашения разряда отсчитывается непосредственно по вольтметру $U_Б$.

Получение вольт-амперных характеристик. При решении ряда вопросов, связанных с применением и контролем ламп с холодным катодом, часто бывает необходима вольт-амперная характеристика горящей лампы, т. е. зависимость между током в лампе и напряжением на ее электродах. Например, такая характеристика крайне необходима при проверке стабилитронов (рис. 11). Эти характеристики можно получать с помощью схемы рис. 1, *а*. Необходимо лишь измерить ряд значений напряжения горения лампы при различных токах в ней. Ток задают путем изменения напряжения, снимаемого с потенциометра.

Сначала после зажигания разряда напряжение увеличивают и фиксируют ряд значений тока и соответствующие напряжения горения. Затем напряжение уменьшают вплоть до момента гашения разряда и получают еще ряд значений тока и напряжения горения. По полученным значениям тока и напряжения горения строят график.

Измерения параметров диодных промежутков многоэлектродных ламп. Многоэлектродные лампы с холодным катодом можно рассматривать как совокупность нескольких газоразрядных диодов. Например, триод МТХ90 представляет собой совокупность двух диодов с одним общим катодом: сетка — катод, анод — катод. Разрядный промежуток сетка — анод также является диодом. Тетроды типа ТХ (с четырьмя электродами) содержат следующие основные диоды: первая сетка — катод, вторая сетка — катод, анод — катод, анод — вторая сетка. Если брать другие комбинации электродов, то число диодов увеличится.

В число основных параметров многоэлектродных ламп как в технических паспортах ламп, так и в справочных таблицах указываются параметры их основных диодных промежутков, используемых при работе.

Для измерения параметров диодных промежутков в многоэлекродных лампах и построения их характеристик можно использовать только что описанную методику по схеме рис. 1, *а*.

Прибор для отбраковки ламп МТХ90

Устройство (рис. 20) объединяет пять схем, позволяющих быстро рассортировать годные и негодные лампы без изменения питающего напряжения. Величина этого напряжения соответствует норме, оговоренной в технических условиях.

Гашение ламп в этих схемах происходит автоматически за счет релаксационного разряда конденсаторов C_1—C_3, питающих разрядные промежутки лампы. После каждого разряда конденсаторы снова заряжаются через соответствующие резисторы до величины напряжения зажигания или питающего напряжения, если последнее меньше напряжения зажигания. Переход от контроля одного параметра к другому осуществляется переключателем на пять положений.

В положении *1* лампы сортируются по напряжению зажигания между сеткой и катодом При подаче на сетку оговоренного в технических условиях напряжения 90 *в* напряжение на сетке несколько превышает $U_{з\,о}$. Поэтому при таком напряжении в исправных лампах промежуток сетка — катод должен зажигаться и лампа периодически вспыхивает.

В положении *2* проверяется чувствительность ламп при наименьшем напряжении питания. В этой схеме лампы МТХ90 по техническим условиям должны зажигаться при сопротивлении в цепи сетки 0,5 *Мом* при питающем напряжении 87 *в* не только по сетке,

но и по аноду. Последнее отмечается по скачку яркости свечения. Конденсатор C_4 служит для выявления ламп, склонных к релаксационным колебаниям в промежутке сетка — катод.

В положении *3* и *4* проверяется отсутствие самопробоев при двух величинах сеточных сопротивлений (10 и 20 *Мом*), задающих разный начальный ток в цепи сетки. По техническим условиям лампа МТХ90 не должна зажигаться при импульсном включении анодного напряжения 150 *в*.

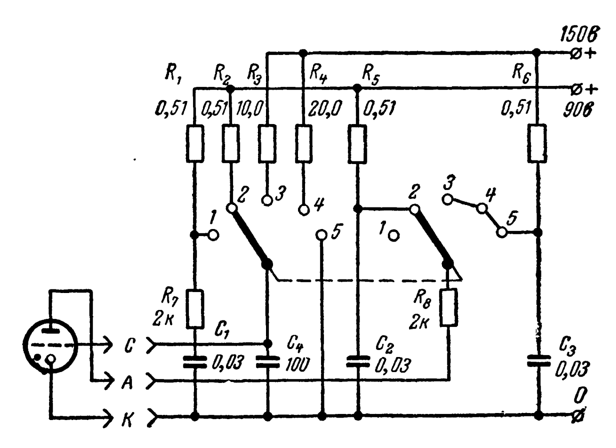


Рис. 20. Устройство для отбраковки ламп МТХ90.

В положении 5 проверяется отсутствие пробоев с анода на сетку, соединенную с катодом. Напряжение зажигания между анодом и сеткой должно быть не менее 150 *в*.

Получение характеристик на экране осциллографа

Получение характеристик путем ряда измерений и последующего построения графиков по точкам — путь весьма трудоемкий. Применение же осциллографа позволяет экономить время и повышает качество контроля.

Достоинства осциллографического метода особенно ощутимы при отборе ламп с одинаковыми характеристиками. Этот отбор осуществляется сравнением осциллограмм характеристик испытуемой лампы с характеристиками лампы, принятой за образцовую. Устройство для такого контроля ламп приведено на рис. 21

Практически это сравнение делается так Сначала на экране осциллографа получают в крупном плане осциллограмму образцовой лампы $Л_1$. Затем копируют ее на кальку, приложенную к экрану, а также отмечают область допустимого разброса. На этом настройка по образцовой лампе заканчивается.

После этого, не трогая рукояток управления лучом и сохраняя постоянными другие элементы схемы, подключают тумблером испытуемую лампу $Л_2$ и проверяют, укладывается ли осциллограмма ее характеристики в допустимой области разброса.

С целью проверки зарисованной образцовой осциллограммы периодически подключают образцовую лампу и с помощью органов управления лучом вносят соответствующие коррективы, если таковые требуются.

Схема питается от сети переменного тока через потенциометр или лабораторный автотрансформатор с вольтметром (на схеме не показаны).

В положении *1* на экране получается вольт-амперная характеристика. Такая характеристика для промежутка анод — катод лампы

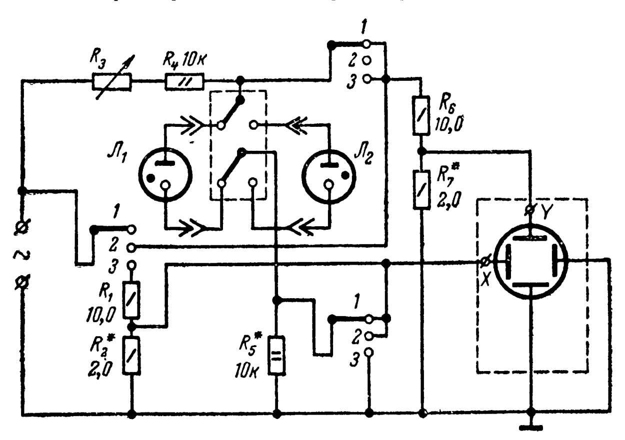


Рис. 21. Схема для получения основных характеристик ламп на осциллографе.

МТХ90 приведена на рис. 22, *а*. С помощью резистора R_3 и входного напряжения устанавливают соответствующий режим работы ламп. Напряжение, снимаемое с резистора R_5, подается на вход усилителя X (генератор развертки осциллографа при этом выключается), и смещения луча по этой оси позволяют судить о величине тока в лампе. Напряжение, снимаемое с делителя R_6—R_7, вызывает колебания луча вдоль оси Y. Смещение луча по этой оси показывает напряжение $U_л$ на электродах лампы. При одновременном участии луча в двух взаимосвязанных колебаниях на экране получается осциллограмма зависимости между током в лампе и напряжением на электродах лампы.

При нулевых напряжениях на входах осциллографа электронный луч находится в центре экрана. При полупериоде переменного тока, соответствующем положительному анодному напряжению, электронный луч смещается вправо от нулевой точки и на экране получается осциллограмма вольт-амперной характеристики при нормальном подключении лампы. Эта характеристика расположена над осью X.

При другом полупериоде переменного тока полярность включения лампы изменяется, луч смещается влево и на экране получается осциллограмма, расположенная под осью X, — это вольт-амперная характеристика лампы при отрицательном анодном напряжении.

Осциллограммы показывают, что в первом случае в лампе имеет место нормальный тлеющий разряд, а во втором аномальный тлеющий разряд Верхняя точка вертикальной линии осциллограммы нормального разряда соответствует напряжению зажигания, а горизонтальная линия — напряжению горения при разных токах. Нижняя же точка вертикального участка второй половины осциллограммы соответствует напряжению зажигания лампы при обратном подключении. Сместив нулевое положение электронного луча несколько влево и вниз, а также увеличив масштаб (усиление) по осям X и Y, можно получить в крупном плане только одну вольт-амперную характеристику при положительном анодном напряжении.

В положении *2* на экране получается зависимость между напряжением питания $U_Б$ и током в лампе I (рис. 22, *б*). Такая осциллограмма позволяет сравнивать лампы по их внутреннему сопротивлению при положительном и отрицательном анодных напряжениях, а также по напряжению зажигания и напряжению гашения. Величину внутренних сопротивлений характеризуют скачки тока при зажигании, т. е. длина горизонтальных участков осциллограммы, отмеченных пунктиром.

Напряжение зажигания показывают точки на оси Y, в которых наблюдаются скачки тока. Точки возвращения луча на ось Y соответствуют напряжению гашения лампы, а длина основания треугольников «всплеска» тока дает представление о разности между напряжением зажигания и гашения.

В положении *3* получается осциллограмма зависимости между напряжением питания $U_Б$ и напряжением на электродах лампы $U_л$ (рис. 22, *в*). Такая осциллограмма удобна для сравнения стабилитронов. При положительном анодном напряжении на участке OA имеет место несамостоятельный разряд. В точке A зажигается нормальный тлеющий разряд и напряжение на лампе падает (точка D). По мере дальнейшего повышения напряжения $U_Б$ напряжение на горящей лампе остается почти неизменным (участок DE). При уменьшении питающего напряжения $U_Б$ напряжение на лампе сохраняется почти постоянным до точки C. Абсцисса точки C характеризует минимальное значение стабилизируемого напряжения (напряжения на входе), а ордината этой точки — минимальное значение стабилизированного напряжения (напряжения на выходе).

При отрицательном анодном напряжении разряд зажигается в точке B, в лампе сразу начинается аномальный тлеющий разряд и участок с постоянным напряжением горения отсутствует. Поэтому при такой полярности включения стабилитрон не работоспособен. Для исключения этого участка характеристики можно последовательно с лампой включить полупроводниковый диод, а масштаб участка, соответствующего нормальному тлеющему разряду, можно значительно увеличить.

Заметим, что все три описанные схемы можно использовать не только для сравнения характеристик ламп, их можно использовать и как измерительные. Однако в последнем случае необходимо, во-первых, заранее проградуировать масштабную сетку экрана осциллографа и, во-вторых, устранить смещение положения нулевой точки, которое наблюдается в момент зажигания разряда в лампе, или каждый раз перед измерением возвращать нулевую точку в исходное положение. Для возвращения нулевой точки в исходное положение в случае осциллограмм рис. 22, *а* и *б* в качестве ориентира можно использовать, например, нижний конец вертикального участка осцил-

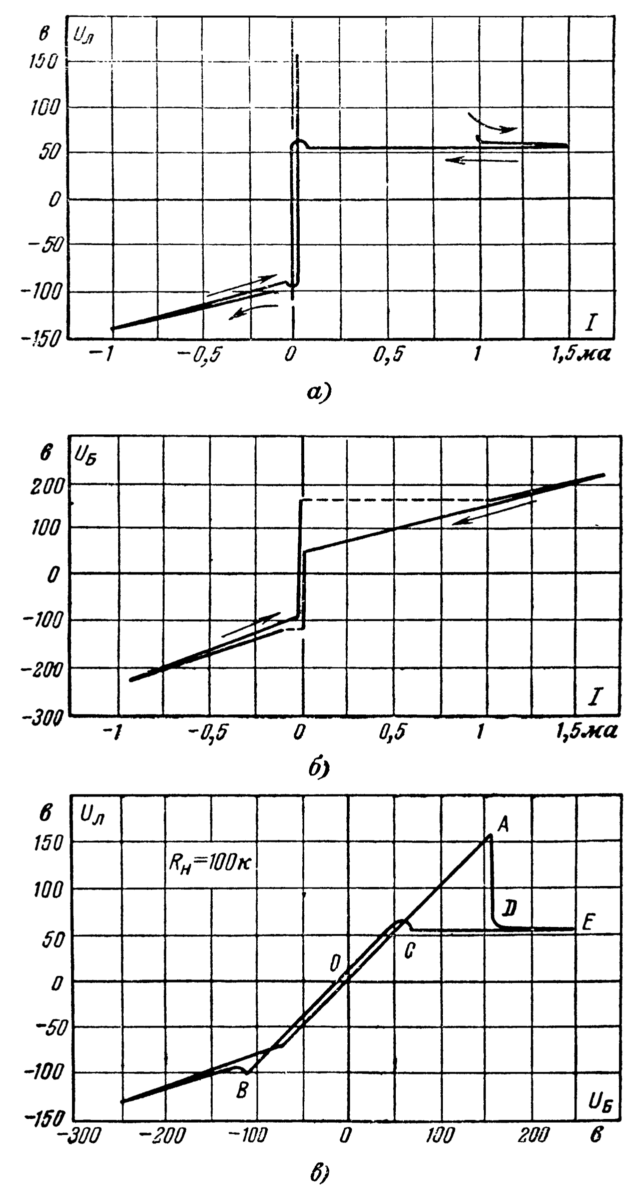


Рис. 22. Осциллограммы характеристик промежутка анод — катод лампы МТХ90.

лограмм, соответствующий нулевым значениям тока, а в случае рис. 20, *в* — точку *B*.

Смещение нулевой точки объясняется наличием в усилителях осциллографа переходных конденсаторов. Поэтому для устранения этого смещения измерительная схема должна подключаться непосредственно к пластинам осциллографа или осциллограф должен быть снабжен усилителями постоянного тока. При отсутствии соответствующего осциллографа схему можно подключить к сеткам ламп выходных каскадов осциллографа, аноды которых обычно связаны с пластинами без переходных конденсаторов. При этом сопротивления резисторов R_1, R_2, R_6 и R_7 придется изменить в соответствии с входными сопротивлениями ламп осциллографа.

Схема для контроля пусковых характеристик триодов

Способ построения пусковых характеристик мы рассмотрим на примере триода МТХ90. Измерительная схема приведена на рис. 23, *а*. Микроамперметр должен иметь ток полного отклонения

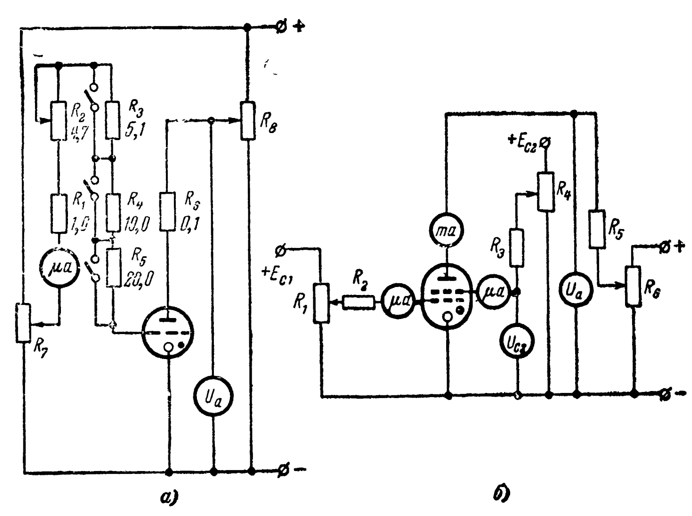


Рис. 23. Схемы для снятия пусковых характеристик тиратронов в триодном включении (*а*) и тетродном включении (*б*).

около 50 *мка* (например, типа М24 или М592). Резисторы R_7 и R_8 — лабораторные потенциометры. Вместо них можно также использовать переменные резисторы типа СП. Напряжение источника питания должно быть несколько выше, чем напряжение зажигания по аноду $U_{з.а}$ при свободной сетке.

Методика измерений такова. Измерения начинают с определения напряжения зажигания анодного промежутка при отключенной сетке т. е. при токе сетки $I_c = 0$. Плавно увеличивая напряжение, снимаемое с потенциометра R_8, улавливают момент зажигания лампы. Показания вольтметра в момент зажигания принимают за напряжение $U_{з.а}$ при $I_c = 0$. Гашение разряда в анодном промежутке произ-

водится путем уменьшения напряжения, снимаемого с потенциометра R_8.

Во избежание ошибок при одном и том же I_c напряжение $U_{з.а}$ рекомендуется определять не менее 3 раз и взять среднее арифметическое.

Затем подобным же образом определяют $U_{з.а}$ при сетке, соединенной с катодом, а потом при токах сетки I_c, равных 4, 8, 12, ..., 40 *мка*. Эти токи задают с помощью потенциометра R_7 или набора резисторов R_1—R_5, позволяющего получать любые сопротивления от 1 до 41 *Мом*.

Разумеется, что при изменении тока сетки потенциометром R_7 набор резисторов можно заменить одним постоянным резистором. Применение же набора оправдывается тем, что в этом случае имеется возможность подобрать конкретное сопротивление сеточного резистора, задающего соответствующий ток подготовки.

Как фиксировать момент зажигания разряда по цепи анода, когда в сеточном промежутке разряд уже зажжен? Зажигание разряда анодного промежутка можно регистрировать по-разному. Его можно определить визуально по свечению газа (при зажигании анодного промежутка газ в колбе начинает светиться по значительно большему объему). Его можно определить по незначительному отключению стрелки сеточного микроамперметра (зажигание разряда в анодном промежутке оказывает некоторое влияние на электропроводность сеточного промежутка). Его можно определить и по дополнительно включенному в анодную цепь миллиамперметру.

По полученным измерениям строят пусковую характеристику. Лампы с пусковым током более 10 *мка* при анодном напряжении 150 *в* хорошо работают во всех каскадах и являются наилучшими.

Следует иметь в виду, что полученные значения пускового статического тока зажигания не равны току зажигания при работе в импульсном режиме. При статических измерениях начальный разряд распределяется по всему катоду, а при импульсе пусковой ток возникает лишь в одной точке катода.

Схема для снятия пусковых характеристик тетродов

Для исследования пусковых характеристик тиратронов с «потенциальным» управлением собирают схему рис. 23, *б* Потенциометром R_1 устанавливают нужный ток подготовки I_{c1} (например, 50 *мка*), потенциометром R_6 — заданное значение анодного напряжения (например, 175 *в*, т. е, чтобы U_a было меньше $U_{з.а}$). Начальное напряжение на второй сетке U_{c2} выбирают потенциометром R_4 в пределах 30—60 *в*, т. е. между левой и правой ветвями пусковой характеристики (рис 18, *а*). Затем постепенно уменьшают U_{c2} до тех пор, пока не зажжется разряд между анодом и второй сеткой (момент зажигания фиксируют по снижению показаний вольтметра U_a). Так получают точку на левой ветви пусковой характеристики (например, точку *А*) Разрывом цепи анода или снижением анодного напряжения гасят разряд и устанавливают снова прежнее U_a и начальное напряжение U_{c2}. После этого постепенно увеличивают U_{c2} до момента зажигания разряда между анодом и катодом. Таким образом получают точку на правой ветви пусковой характеристики (например, точку *Д*).

Затем изменяют анодное напряжение до нового значения, например $U_a=200$ *в*, и аналогично получают точки на левой и правой ветвях пусковой характеристики. Получив подобным образом 8—10 то-

чек, строят пусковую характеристику при данном токе $I_{c1}=50$ *мка* Уменьшив значение тока подготовки, например, до 20 *мка*, снимают вторую правую ветвь пусковой характеристики при $I_{c1}=20$ *мка*. Устанавливая другие значения тока подготовки, получают все семейство пусковых характеристик тиратрона этого типа.

Схемы зажигания ламп тлеющего разряда

Чтобы зажечь разряд, необходимо на разрядный промежуток подать напряжение, которое должно быть больше, чем напряжение зажигания этого промежутка $U_з$. Напряжение подают обязательно

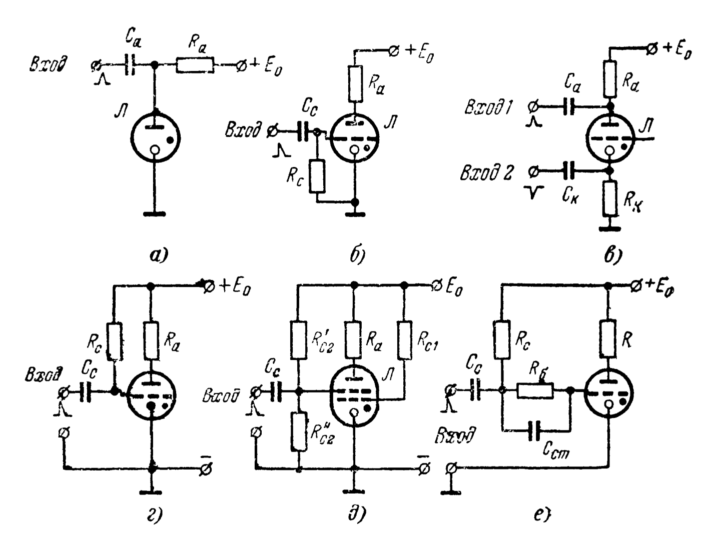


Рис. 24. Схемы зажигания ламп тлеющего разряда.

через резистор, ограничивающий разрядный ток. При малом сопротивлении этого резистора разряд может перейти в дуговой и прибор выйдет из строя. При больших значениях сопротивлений разряд может не развиться.

Обычно на разрядный промежуток подают напряжение E_0, которое меньше, чем $U_з$ этого промежутка. Для зажигания разряда в диоде при таком режиме на разрядный промежуток подают дополнительный импульс напряжения через разделительный конденсатор C_a (рис. 24, *а*). Тиратроны в большинстве случаев зажигают подачей положительных импульсов на промежуток сетка — катод (рис. 24, *б*). Реже применяются способы зажигания подачей на анод импульса положительной полярности или на катод импульса отрицательной полярности (рис. 24, *в*).

Зажигание по схемам рис. 24, *а*, *б*, *в* осуществляется, как правило, импульсами большой длительности. От коротких импульсов лампы не всегда срабатывают.

Время запаздывания зажигания может доходить до нескольких минут, если подаваемое напряжение незначительно превышает $U_з$.

Повышение напряжения уменьшает время зажигания. Однако, чтобы развить разряд от короткого импульса, его амплитуда должна быть большой.

В схемах рис. 24, *г д* и *е* для устранения запаздывания и уменьшения времени формирования разряда, а также для повышения чувствительности в лампах схемным путем создана начальная ионизация газа. Эта ионизация возбуждается током подготовки в цепи сетки. Величина тока подготовки в схеме рис. 24, *г* задается резистором $R_с$. Для МТХ90 его сопротивление берется в пределах 5—50 *Мом*, а у тиратронов ТХ3Б и ТХ4Б в триодном режиме $R_с$ может доходить до 100—200 *Мом*.

На схеме рис. 24, *д* приведен один из способов зажигания тиратронов с потенциальным управлением, используемых в тетродном режиме. Зажигается тиратрон подачей положительного пускового импульса необходимой амплитуды на вторую сетку. Следует иметь в виду, что если потенциал второй сетки ниже потенциала первой или равен потенциалу катода («земля»), то зажечь тиратрон подачей на первую сетку пускового импульса даже значительной амплитуды невозможно.

Емкость конденсатора $C_с$ в схеме рис. 24, *г* должна быть не больше 51 *пф*. Чрезмерное увеличение ее приводит к паразитной генерации. Процесс самовозбуждения происходит следующим образом. Конденсатор $C_с$ через резистор $R_с$ и выходное сопротивление источника запускающих импульсов, присоединенного к входным зажимам, заряжается от источника питания E_0. При соответствующей емкости конденсатора $C_с$ после достижения напряжения $U_{з.с}$ запасенной им энергии может оказаться достаточно, чтобы развить в промежутке сетка — катод пусковой ток, зажигающий анодный промежуток. Тиратрон при этом зажжется, конденсатор $C_с$ разрядится, и процесс повторится снова.

Для устранения самовозбуждения между конденсатором $C_с$ и сеткой вводится резистор $R_б$ [сопротивлением 0,5—2 *Мом*, который ограничивает ток разряда конденсатора $C_с$ (рис. 24, *е*)]. Однако при этом чувствительность схемы снижается. Чтобы несколько увеличить чувствительность, можно подключить параллельно $R_б$ конденсатор $C_{ст}$ емкостью 20—50 *пф*.

Схемы гашения разряда

Чтобы погасить лампу тлеющего разряда, необходимо либо снизить питающее напряжение до величины, меньшей, чем напряжение горения U, либо разорвать на некоторое время цепь питания. Продолжительность времени прерывания цепи должна быть больше времени деионизации разрядного промежутка (30—1 000 *мксек*).

Погасить разряд в лампе можно подачей гасящего импульса положительной полярности на катод или импульса отрицательной полярности на анод (рис. 25, *а*). Погасить тиратрон воздействием на сетку не удается.

Широко применяется способ гашения по схеме рис. 25, *б*. В исходном состоянии конденсатор $C_а$ через резистор с большим сопротивлением R_1 заряжен до напряжения источника питания. При появлении пускового импульса лампа зажигается и через нее течет ток разряда конденсатора $C_а$. Так как сопротивление резистора $R_а$ значительно меньше, чем резистора R_1, то напряжение на конденсаторе падает до напряжения гашения разряда. Таким образом, в этой схеме происходит самогашение лампы.

В некоторых устройствах применяется способ гашения за счет питания переменным током, полупериод колебаний которого должен быть больше времени деионизации. При питании переменным током (схема рис. 25, *в*) или пульсирующим лампа гаснет в моменты, когда напряжение упадет до напряжения гашения. До тех пор, пока напряжение E подается на сетку, лампа периодически зажигается при каждой положительной полуволне питающего напряжения. При отключении источника E_c ключом K лампа не будет вспыхивать. Если нагрузка R_a имеет индуктивную составляющую

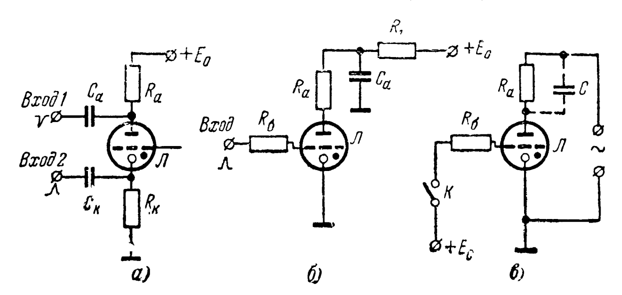


Рис. 25. Схемы гашения разряда в лампах.

(обмотка реле и т. д.), то ее целесообразно шунтировать конденсатором C.

Существуют и другие способы гашения: способ гашения одной лампы другой по схеме с общим резистором в цепи анодов ламп и способ с применением «опрокидывающего» конденсатора. Эти способы широко используются при построении различных импульсных, триггерных, распределительных и пересчетных схем.

Индикаторы напряжения

Диоды и триоды тлеющего разряда можно применять в качестве индикаторов постоянного напряжения, переменного напряжения низкой и высокой частоты и импульсного напряжения, для построения различных табло и счетных устройств. Необходимым условием применения приборов тлеющего разряда для индикации напряжения является наличие источника питания с напряжением, большим, чем напряжение зажигания прибора. Основная схема включения диода в качестве индикатора напряжения приведена на рис. 26, *а*, а триода — на рис. 26, *б*.

При включении триода сетка соединяется с анодом через резистор R_c сопротивлением 0,02—0,1 *Мом*, ограничивающим ток сетки.

Сопротивление резистора R_a находится из выражения

$$R_a = \frac{E_0 - U_г}{I_р},$$

где $I_р$ — рабочий ток газоразрядного промежутка, который определяют по паспортным данным.

Из диодов тлеющего разряда в качестве индикаторов обычно применяют неоновые лампы, а из триодов — тиратроны типа МТХ90 и ТХ5Б, имеющие яркое торцовое свечение.

Так как свечение сосредоточивается у катода, то при работе от источника постоянного тока минус источника питания должен подключаться к катоду, которым в названных лампах служит электрод с большей поверхностью.

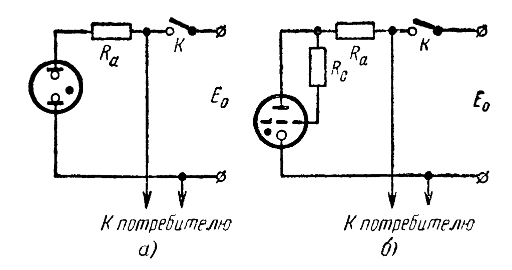


Рис 26. Схемы включения ламп в качестве индикаторов напряжения.

При работе на переменном токе используются неоновые лампочки с одинаковой площадью электродов. Приборы с разной величиной поверхности электродов можно использовать, если уменьшить ток через прибор. В противном случае при отрицательном потенциале на малом электроде в приборе будет происходить аномальный тлеющий разряд и этот электрод будет распылятся.

Указатель напряжения

Указатель напряжения предназначается для определения наличия напряжения в сети и электроустройствах. На рис. 27 показан прибор типа ИН1, рассчитанный на напряжение от 100 до 380 *в* (действующее значение). Индикаторной лампочкой *1* в нем служит диод тлеющего разряда типа ВМН2, размещенный внутри пластмассового корпуса *5* прибора вместе с ограничительным резистором *2*, сопротивлением 1—2,2 *Мом*. Ограничительный резистор соединяется с металлическим стержнем *4*, а диод — с металлическим выводом *7*, укрепленным на головке *6* корпуса прибора. Для обеспечения надежного контакта, а также фиксации положения диода и резистора внутри корпуса служит пружина *3*. При пользовании индикатором необходимо коснуться стержнем *4* проверяемой проводки или соответствующей детали испытуемого электрооборудования, а одним из пальцев руки, держащей индикатор, прикоснуться к выводу *7*.

Зажигание диода и свечение его, наблюдаемое через отверстие в корпусе или непосредственно через прозрачный корпус, свидетельствуют о наличии в испытуемом оборудовании напряжения относительно земли.

Рис. 27. Указатель напряжения.

Особенно удобно пользоваться индикатором, когда необходимо определить, какой из проводов электросети является нулевым и какой фазовым (в сетях с заземленной нейтралью диод светится только при касании фазового провода).

При самостоятельном изготовлении указателя напряжения вместо диода ВМН2 можно применять и другие диоды, а также тиратроны МТХ90 и ТХ5Б. В тиратронах используют только диодный промежуток сетка — катод. Разумеется, конструкцию корпуса в этих случаях придется несколько изменить, а пружину можно заменить соединением схемных элементов через проводники.

Схемы для визуального контроля напряжения сети

При эксплуатации радиоаппаратуры часто возникает необходимость контроля напряжения питания. Обычно для этой цели применяют вольтметры. Однако в тех случаях, когда достаточно

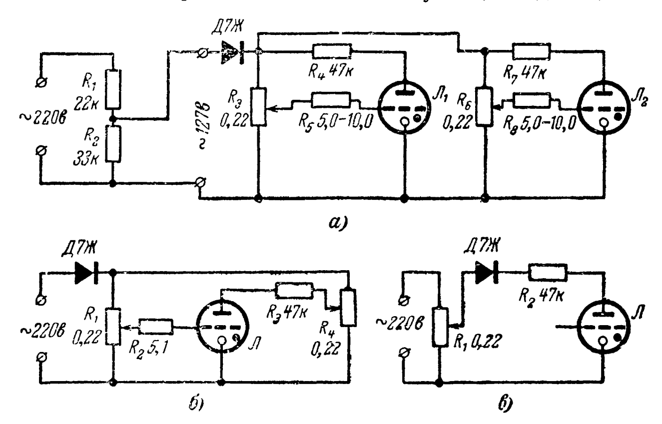


Рис. 28. Схемы для визуального контроля напряжения сети.

контролировать лишь три уровня напряжения (ниже нормы, норма, больше нормы), вольтметры могут быть заменены устройствами на лампах тлеющего разряда.

В устройстве (рис. 28, *а*) при нормальном сетевом напряжении должна гореть лампа $Л_1$, при повышенном напряжении зажигается и лампа $Л_2$, при пониженном напряжении обе лампы гаснут.

Схему настраивают с помощью автотрансформатора. На вход схемы подают напряжение, соответствующее дозволенному минимуму напряжения сети (например, 200 *в*), и потенциометром R_3 подбирается минимальное (относительно катода) напряжение, при котором происходит зажигание лампы $Л_1$. Затем устанавливают верхний предел контролируемого напряжения (например, 230 *в*) и с помощью потенциометра R_5 добиваются зажигания лампы $Л_2$ После регулировки движки обоих потенциометров фиксируют. Желаемая яркость свечения ламп подбирается с помощью резисторов R_4 и R_7. При напряжении электросети 127 *в* необходимость в делителе напряжения на R_1 и R_2 отпадает.

Схема рис. 28, *б* имеет такое же назначение, но в ней используется одна лампа МТХ90. При нормальном уровне напряжения разряд осуществляется в промежутке сетка — катод. Этот разряд сопровождается незначительным свечением газа в глубине лампы. При напряжении сверх нормы зажигается разряд в промежутке анод — катод и газ ярко светится практически по всему объему баллона. Настройка схемы осуществляется так. Устанавливают минимум входного напряжения и с помощью потенциометра подбирают минимальное напряжение, при котором происходит зажигание разряда по цепи сетки. Затем устанавливают максимум напряжения и потенциометром R_4 добиваются зажигания анодного промежутка.

Возможен и такой вариант схемы (рис. 28, *в*), в котором используется также только одна лампа МТХ90. Работа этого устройства основывается на том, что напряжение зажигания разрядного промежутка анод — катод лампы МТХ90 при различной полярности приложенного напряжения различно. При положительном напряжении на аноде напряжение зажигания на 20—40 *в* выше, чем при отрицательном. Свечение газа в тиратроне при различной полярности подводимого напряжения также различно и сосредоточено в различных местах. При отрицательном напряжении на аноде газ светится в глубине лампы около центрального электрода — анода, а при положительном — по всему объему лампы. Полярность напряжения, подаваемого на анод, определяется полярностью включения диода.

Следует отметить, что при включении новых (не тренированных) ламп в эти схемы возможны изменения порога срабатывания. Поэтому через некоторое время необходимо провести подрегулировку схемы. Для улучшения видимости свечения и устранения влияния внешнего освещения лампы МТХ90 полезно затенить.

Устройство для предохранения приборов от перенапряжения

Устройство (рис. 29) автоматически выключает аппаратуру, если напряжение электросети превысит норму.

Конденсатор *C* заряжается через полупроводниковый диод и ограничительный резистор R_3. Параллельно конденсатору подклю-

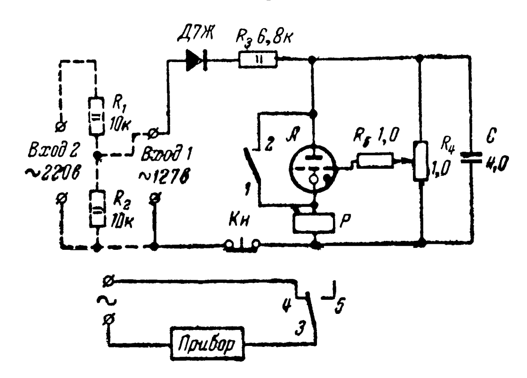


Рис. 29 Схема устройства для предохранения приборов от перенапряжения.

чен потенциометр R_4, с помощью которого регулируется напряжение, подаваемое на сетку лампы МГХ90.

Выпрямленное напряжение на конденсаторе приблизительно равно амплитудному значению сетевого напряжения, поданному на первый вход, и составляет 1,4 напряжения электросети. С повышением напряжения электросети пропорционально растет напряжение и на конденсаторе и электродах лампы. Как только напряжение на сетке возрастает до напряжения зажигания промежутка сетка — катод, тиратрон зажигается и разрядным током включается реле *Р* (например типа РС13, с сопротивлением обмотки 8 000 *ом*). С помощью контактов *1* и *2* реле самоблокируется. Контакты *3*, *4* и *5* служат для выключения аппаратуры и включения соответствующей сигнализации. Если напряжение питания понизилось, то аппаратуру можно снова включить нажатием кнопки *КН*.

При настройке устройства на первый вход подается максимальное напряжение, и вращением рукоятки потенциометра R_4 добиваются зажигания тиратрона и срабатывания реле.

При напряжении электросети 220 *в* последнее подают на второй вход, т. е. через делитель напряжения, обозначенный пунктиром.

Измерители напряжения

Измеритель напряжения с пределами от 50 до 1 000 *в* представляет собой обычный делитель напряжения (рис. 30, *а*). К переменному резистору R_2 подключена неоновая лампочка, напряжение зажигания которой известно. На оси потенциометра R_2 закрепляют

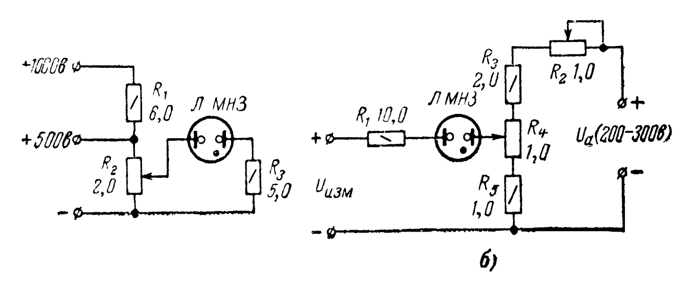


Рис. 30. Измерители напряжения.

стрелку, которая перемещается по специальной шкале. Вращая ось, отмечают положение стрелки, при котором происходит зажигание лампы. Это позволяет определить, во сколько раз измеряемое напряжение выше напряжения зажигания неоновой лампы. Например, измеряемое напряжение подключено к клеммам «+500 *в*» и «—», и лампочка зажглась в тот момент, когда движок потенциометра R_2 находился в среднем положении. Это показывает, что половина измеряемого напряжения равна напряжению зажигания лампы. Если последнее равно 70 *в*, измеряемое напряжение равно 140 *в*. Для удобства отсчета шкала прибора с помощью эталонного вольтметра градуируется в вольтах.

Для измерения напряжений порядка единиц и десятков вольт можно использовать схему (рис. 30, *б*). Отсчет измеряемого напряжения производится по стрелке и шкале потенциометра R_4.

Перед тем как производить измерения, стрелку устанавливают на нулевое деление этой шкалы, а затем, соединив накоротко входные клеммы («+» и «—») прибора, вращением ручки потенциометра R_2 добиваются зажигания лампочки. Если теперь ко входным клеммам подключить измеряемое напряжение $U_{изм}$, соблюдая при этом указанную полярность, то неоновая лампочка не загорится. Это объясняется тем, что напряжение $U_{изм}$ противодействует напряжению внешнего источника, и, таким образом, напряжение на электродах лампы снижается. Для того чтобы вновь добиться зажигания лампы, необходимо увеличить приложенное к ней напряжение на величину $U_{изм}$. Это осуществляется вращением ручки потенциометра R_4. По положению стрелки можно определить величину $U_{изм}$.

Генератор релаксационных колебаний на диоде

Наиболее простой схемой для получения релаксационных колебаний можно считать схему с газоразрядным диодом, например с неоновой лампой (рис. 31, *а*). При замыкании ключа *К* конден-

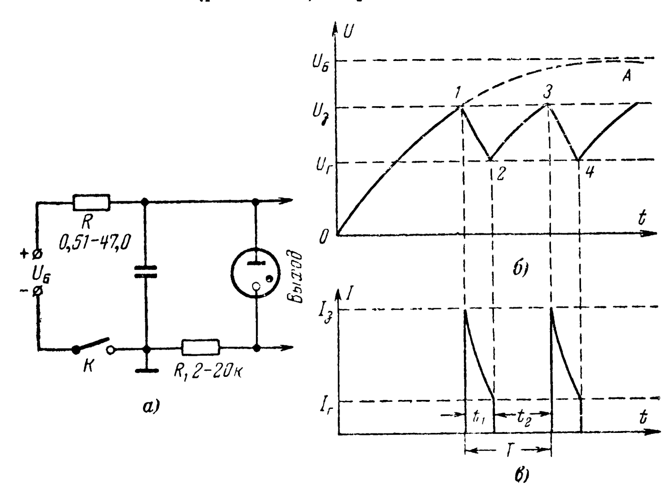


Рис. 31. Релаксационный генератор импульсов на диоде и графики, поясняющие его работу.

сатор *С* медленно заряжается от батареи и напряжение на нем экспоненциально возрастает. График изменения напряжения на конденсаторе от времени при отключенной лампе изображен кривой *ОА* (рис. 31, *б*).

Газоразрядная лампа, используемая в схеме, осуществляет автоматическое переключение конденсатора с заряда на разряд. Как только напряжение на конденсаторе достигнет величины напряжения зажигания $U_з$, в лампе возникнет тлеющий разряд, электропроводность лампы резко возрастает и конденсатор начинает разряжаться через нее и резистор R_1. Напряжение на конденсаторе будет падать, как это показано кривой *1—2*. Когда напряжение на конденсаторе упадет до напряжения гашения разряда в лампе $U_г$,

разряд погаснет и лампа опять будет обладать очень большим сопротивлением. При этом цепь разряда конденсатора как бы размыкается и напряжение на конденсаторе будет снова возрастать (кривая *2—3*), пока при напряжении $U_з$ не произойдет очередное зажигание лампы. Далее процесс повторяется.

В результате напряжение на конденсаторе будет пульсировать по характерному закону, имеющему вид, близкий к пилообразной кривой.

График изменения тока I в цепи лампы приведен на рис. 31, *в*. Импульсы тока наблюдаются только в момент разряда конденсатора через горящую лампу. Во время заряда конденсатора в лампе имеет место ток несамостоятельного разряда, но величина его ничтожно мала, и поэтому на графике он не показан.

Такие периодические колебания, существенно отличающиеся по форме от синусоидальных, называют релаксационными, а устройства, возбуждающие их, называют генераторами релаксационных колебаний или релаксаторами.

Время T (цикл разряд — заряд) называют периодом релаксационных колебаний, $T=t_1+t_2$. Продолжительность времени заряда t_2 определяется формулой

$$t_2 = RC \ln \frac{U_Б - U_г}{U_Б - U_з} .$$

Время разряда t_1 зависит как от параметров цепи генератора, так и от внутреннего сопротивления лампы. Эта зависимость очень сложная и поэтому здесь не приводится. Практически время t_1 можно регулировать в широком диапазоне и сделать очень малым путем уменьшения сопротивления резистора R_1. Приближенно t_1 можно рассчитать по формуле

$$t_1 = R_1 C \ln \frac{U_з}{U_г} .$$

Величину $1/T$ называют частотой колебания. Амплитуда колебаний определяется разностью $U_з - U_г$.

Произведение сопротивления зарядного резистора R (в омах) на емкость конденсатора C (в фарадах) называют постоянной времени цепочки RC. За время RC ранее незаряженный конденсатор C зарядится через резистор R до напряжения, составляющего 63% напряжения батареи.

Из приведенных формул видно, что форму пилообразной кривой можно изменять подбором элементов схемы и заменой лампы, т. е. изменением величин R, C, R_1, $U_Б$ и $U_з$. Однако не при любых значениях этих параметров могут возникнуть колебания.

Что касается формы колебаний, то следует обратить внимание на то, что в начале кривой *OA* зависимость между напряжением на конденсаторе и временем заряда близка к линейной. Поэтому релаксаторы, используемые для получения напряжения развертки, например, для электронного осциллографа, должны работать в пределах этого линейного участка. Для этого необходимо выполнить неравенство $U_з \ll U_Б$.

Заметим также, что напряжение можно снимать и с других элементов схемы. Например, напряжение, снимаемое с резистора R_1, будет изменяться пропорционально току, протекающему через него. Так как ток через этот резистор имеет форму разрядных импульсов (рис. 31, *в*), то и напряжение будет импульсным. Амплитуда этих импульсов равна $I_з R_1$.

Схема (рис. 31, *а*) может работать также и на стабилитронах любого типа или на многоэлектродных лампах в диодном включении.

Релаксационные генераторы на триодах

Релаксаторы на триодах (рис. 32) позволяют при анодном напряжении 100—150 *в* получить импульсы с амплитудой 50—100 *в* и более мощные, чем те, которые получаются в схеме с диодом. Схемы на триодах позволяют также отделить цепи, определяющие частоту, от выходных цепей (например, для удобства изменения частоты).

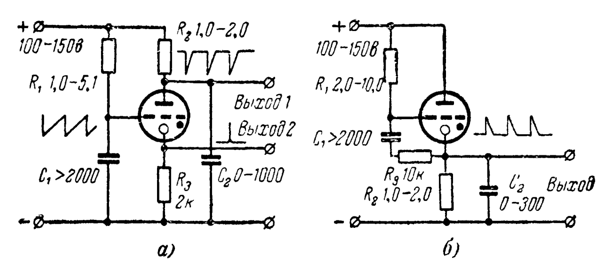


Рис. 32. Релаксационный генератор на триодах.

В этих схемах частота задается релаксационным генератором цепи сетка — катод, а выходной импульс нужной полярности снимается с точки, входящей в цепь анода. Форма и полярность импульсов указаны над соответствующими выходами.

Формирователи-усилители импульсов

В схеме усилителя-формирователя в отличии от схемы релаксационного генератора запуск лампы производится внешним пусковым сигналом, подаваемым на сетку через конденсатор емкостью 10—51 *пф*. Сеточный резистор, задающий ток подготовки, берется обычно 22—47 *Мом*. Выходные цепи усилителя-формирователя выполняются по схеме рис. 32.

Задающий генератор телевизионной развертки

На рис. 33 показана принципиальная схема телевизионной кадровой развертки, в которой генератор развертывающего пилообразного напряжения работает на диоде с холодным катодом. Телевизионный сигнал с выхода усилителя выдеосигнала УВС подается через диод $Д_1$ на делитель напряжения R_1 и R_2. Интегрирующая цепочка R_1C_1 служит для подавления строчных синхронизирующих импульсов. Кадровый синхронизирующий сигнал, образующийся на конденсаторе C_1, подается через конденсатор C_0 на лампу $Л_1$, отделенную от выхо-

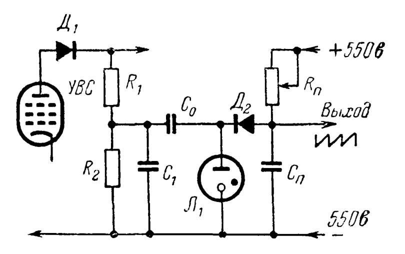


Рис. 33 Схема задающего генератора телевизионной развертки

да схемы диодом $Д_2$. Благодаря большому обратному сопротивлению диода $Д_2$ удается зажечь лампу $Л_1$ маломощным синхронизирующим сигналом. После зажигания лампы $Л_1$ конденсатор $C_п$ быстро разряжается через лампу и диод $Д_2$ и лампа $Л_1$ гаснет. Затем конденсатор $C_п$ начинает заряжаться через резистор $R_п$, создавая на выходе схемы линейно нарастающее напряжение до момента появления очередного синхронизирующего импульса.

Таким образом, на выходе схемы образуются пилообразные колебания, которые поступают на выходной каскад развертки, выполняемый по обычным схемам.

Для улучшения линейности на резистор $R_п$ подается повышенное напряжение из цепи демпфера выходного строчного каскада.

Для обеспечения постоянства начальной ионизации диод с холодным катодом должен иметь кислородно-цезиевый катод, создающий холодную эмиссию. Из существующих ламп для кадровой развертки наиболее подходит диод МН3.

На лампах с холодным катодом возможно построение схем строчной развертки. Для этой цели более всего подходят лампы ТХ13Г или быстродействующие лампы, наполненные водородом в смеси с инертными газами.

Реле времени с подвижной шкалой

Реле времени являются устройствами, позволяющими получить наперед заданную временную задержку. Такие устройства применяются, например, для получения определенной выдержки при фотопечати. В большинстве схем реле времени величина задержки определяется временем заряда емкости C через резистор R от источника постоянного напряжения $U_Б$. Заряд конденсатора прекращается, когда напряжение на ней достигает величины $U_з$. Время задержки определяется формулой

$$t = RC \ln \frac{U_Б}{U_Б - U_з}.$$

На рис. 34 приведено реле времени с подвижной шкалой. Такая шкала очень удобна при фотопечати. Рассмотрим работу схемы.

При нажатии кнопки «Пуск» начинает заряжаться конденсатор C_2 через ограничительный резистор R_7 и обмотку O_1 реле P. Этот ток вызывает срабатывание поляризованного реле P типа РП-4, и подвижный его контакт *2* замыкается с контактом *3*. При этом лампа увеличителя подключается к электросети, а нижняя по схеме обкладка конденсатора C_3 соединяется с минусом конденсатора C_1. Конденсатор C_3 начинает заряжаться через резисторы R_5 и R_6. Пока происходит заряд, лампа увеличителя горит. Как только конденсатор C_3 зарядится до напряжения зажигания разрядного промежутка анод — катод тиратрона МТХ90, последний зажигается, и конденсатор C_3 начинает разряжаться через тиратрон, резистор R_8 и вторую обмотку O_2 того же поляризованного реле. Разрядным импульсом подвижный контакт *2* перебрасывается к контакту *1*. Лампа увеличителя выключается, а конденсатор C_3 быстро и полностью разряжается через резистор R_{10}. Устройство готово к следующему экспонированию. При повторном нажатии кнопки «Пуск» процесс повторяется.

Продолжительность нажатия кнопки «Пуск» не оказывает влияния на величину выдержки, что очень важно при малых выдержках.

Время экспонирования задается с помощью переменного резистора R_6 и устанавливается по шкале, имеющей десять делений. Первое деление соответствует положению рукоятки R_6, при котором резистор замкнут накоротко. Цена одного деления шкалы регулируется потенциометром R_2, с помощью которого одновременно

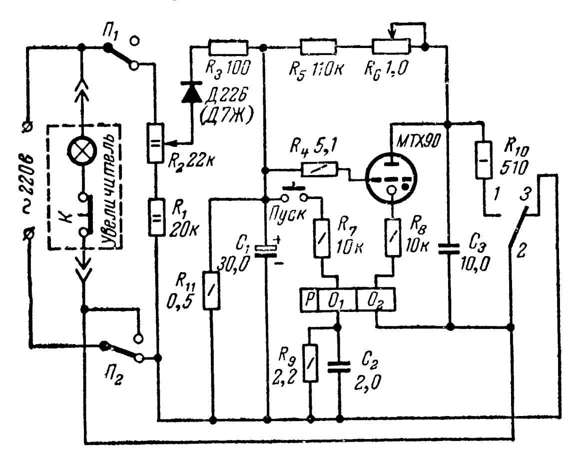


Рис. 34. Реле времени с подвижной шкалой.

изменяется как напряжение $U_Б$ на конденсаторе C_1, так и напряжение зажигания $U_{з.а}$ разрядного промежутка анод — катод тиратрона. При минимальном напряжении, снимаемом с R_2, равном 105 *в* (ползунок находится в нижнем положении), цена одного деления шкалы составляет 4 *сек*, и с помощью резистора R_7 можно задать время от 4 до 40 *сек*. При максимальном значении напряжения, снимаемом с потенциометра R_2 (ползунок находится в верхнем положении), равном 220 *в*, цена одного деления уменьшается в 10 раз и составляет 0,4 *сек*. При других положениях ползунка потенциометра R_2 цена деления может принимать любое промежуточное значение.

Ионные сигнализаторы

Эти устройства можно применять для автоматизации контроля, охраны помещения, сигнализации прикосновения руками к каким-либо предметам, например экспонатам на выставке и др.

Принципиальные схемы сигнализаторов приведены на рис. 35. С помощью делителя напряжения на резисторах R_1 и R_2 на разрядный промежуток анод — катод лампы МТХ90 подается через диод *Д* переменное напряжение порядка 120 *в*. При полупериоде, соответствующем положительному анодному напряжению, разряд в лампе не зажигается. При другом же полупериоде лампа может гореть, но ток в цепи ограничен обратным сопротивлением диода, и электромагнитное реле не срабатывает.

Реле срабатывает только в момент замыкания сетки с анодом лампы через резистор R_4.

В случае сигнализации о прикосновениях руками к металлическим охраняемым предметам напряжение на сетку подается следующим образом. При включении сигнализатора в электросеть необходимо, чтобы фаза сети была подключена к катодной цепи, а нулевой провод, обычно заземленный, был подан на анодную цепь. Охраняемый предмет кладут на подставку из изолятора и соединяют через резистор с сеткой. Если теперь прикоснуться рукой к предмету, то по цепи нулевой провод — земля — тело человека —

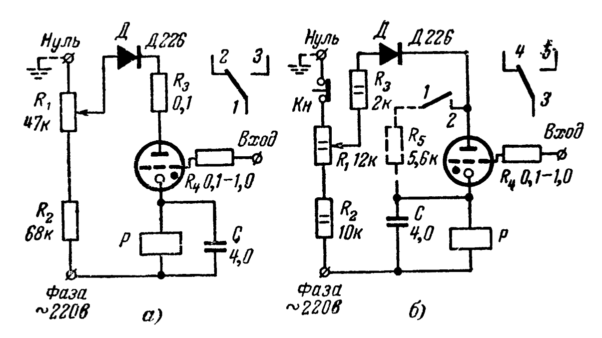


Рис. 35. Схемы ионных сигнализаторов.

предмет — резистор R_4 на сетку подается напряжение электросети. Это вызывает зажигание лампы при полупериоде, соответствующем положительному анодному напряжению, и ток в цепи возрастает. При этом реле срабатывает и включает соответствующую сигнализацию.

В качестве электромагнитных реле в схеме рис. 35, *а* можно использовать поляризованные реле типа РП-5, РП-7, РП-4. Реле РП-4 применяют в том случае, если необходимо после устранения соприкосновения с экспонатом сигнализацию оставить включенной. В схеме рис. 35, *б* применено обыкновенное электромагнитное реле типа РС-13 (сопротивление обмотки постоянному току 8 000 *ом*). При поступлении сигнала на сетку лампа также зажигается и реле срабатывает. При отсутствии сигнала на сетке лампа гаснет и реле размыкает цепь сигнализации. Если необходимо сигнализацию продлить, то с помощью контактов *1* и *2* реле блокируют через дополнительный резистор R_5. Лампа МТХ90 при этом гаснет. Для выключения сигнализации достаточно нажать кнопку *Кн*.

Тиратронное реле для контроля

Устройство (рис. 36) предназначено для автоматического контроля одного предела параметра, измеряемого стрелочным прибором. Электромагнитное двухобмоточное реле подключается к анодам тиратронов $Л_1$ и $Л_2$. На сетку тиратрона $Л_2$ подается маломощный сигнал через стрелку прибора и контакт-упор, установленный на соответствующем делении шкалы. Положительное напряжение подается на корпус измерительного прибора, а оттуда на стрелку. Контакт *К* надежно изолируется от электропроводящего корпуса прибора.

Высокие требования к контактной паре стрелка — контакт *К* не предъявляются, так как напряжение между стрелкой и контактом относительно велико, а ток через контакт мал (порядка 10^{-5} *а*).

Лампа $Л_1$ должна иметь меньшее напряжение зажигания, чем лампа $Л_2$. Если окажется, что $U_{з.а}$ у ламп мало отличаются, то напряжение зажигания $Л_1$ уменьшают включением резистора (показано пунктиром).

Пока стрелка измерительного прибора не соприкоснется с контактом *К*, конденсатор *С* периодически заряжается и разряжается через лампу $Л_1$, а положение подвижного контакта *1* поляризованного реле *Р* остается неизменным. Вспышки лампы $Л_1$ указывают, что устройство работает нормально и регулируемая величина находится в норме. Лампа $Л_2$ при этом зажигаться не будет, так как ее напряжение, как уже было оговорено, больше напряжения зажигания лампы $Л_1$.

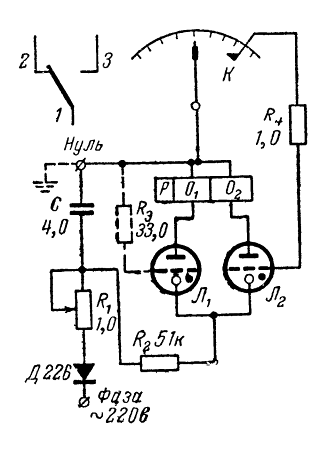


Рис. 36. Тиратронное реле.

Как только стрелка прибора коснется контакта *К*, начнет зажигаться только лампа $Л_2$. Так как разряд конденсатора теперь происходит через обмотку O_2 реле *Р*, то контакт *1* замыкается с контактом *3* и этим подается соответствующая команда исполнительному механизму.

При отходе стрелки от контакта *К* начинает работать лампа $Л_1$ и контакты *1* и *2* снова замыкаются. Частота вспышек ламп, а также время задержки реле регулируются сопротивлением резистора R_1. Чем оно меньше, тем чаще будут вспышки.

При включении устройства в электросеть необходимо соблюдать фазировку, указанную на схеме. Это объясняется тем, что у многих измерительных приборов корпус, а следовательно, и стрелка оказываются заземленными. Однако если корпус прибора надежно изолирован, то на него и анодную шину питания ламп более целесообразно подключать незаземленный провод сети (фазу).

В схеме применено поляризованное реле РП-4 с сопротивлением обмотки постоянному току, равным 290 *ом*, и током срабатывания 0,4—1,6 *ма*.

Тиратронное реле для автоматического регулирования

На рис. 37 показана схема для автоматического регулирования путем контактного съема показаний с измерительных приборов со стрелкой.

С помощью делителя на резисторах R_1 и R_2 на тиратроны МТХ90 через полупроводниковый диод Д226 подается переменное напряжение, амплитудное значение которого меньше напряжения зажигания промежутка анод — катод при нормальном подключении лампы, но больше напряжения зажигания при обратном подключении. Таким образом, при обратном полупериоде переменного напряжения обе лампы слабо горят. Однако на токи этих разрядов реле не реагирует. Это объясняется тем, что, во-первых, величина этих

токов мала и, во-вторых, обмотки реле включены навстречу друг другу и магнитные поля токов компенсируются. Свечение же газа при этом полупериоде сигнализирует о том что устройство работоспособно.

Реле срабатывает только в моменты, когда стрелка измерительного прибора замыкается с одним из контактов K_1 или K_2. Например, при отклонении стрелки прибора влево до контакта K_1 в лампе $Л_1$ зажигается разряд и при положительном полупериоде. Ток этого разряда, протекающий только через обмотку O_1, перебросит якорь реле к соответствующему контакту и этим включит (или выключит) исполнительный механизм.

В этом положении якорь реле будет находиться и после размыкания цепи сетки лампы $Л_1$ и будет возвращен в исходное положение только после отклонения стрелки до контакта K_2.

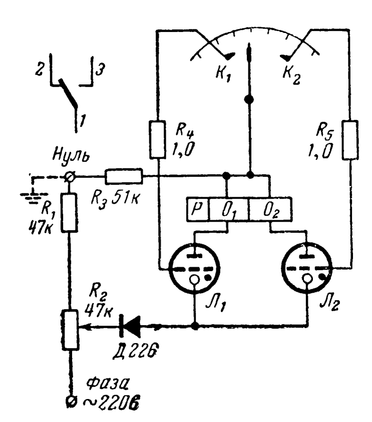


Рис. 37. Тиратронное реле для автоматического регулирования.

Устройство для управления освещением

С помощью устройства рис. 38 осуществляется включение освещения только на время прохождения, например, по коридору индивидуальных домов. Освещение включается от прикосновения руки к ручке двери. При включенном тумблере $П$ на анод тиратрона $Л_1$ (МТХ90) подается напряжение порядка 100 *в*. При этом лампа не зажигается. Однако, если прикоснуться к ручке двери, то на сетку лампы $Л_1$ через тело человека с заземленного нулевого провода N

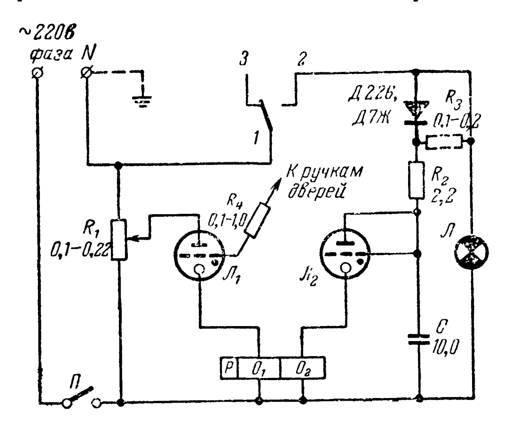


Рис. 38. Устройство для управления освещением.

будет подано напряжение и лампа зажигается по цепи сетки. (Указанное на схеме заземление делать не нужно, так как в действительности оно уже имеется). Это вызывает зажигание разряда и по цепи анода при положительном полупериоде переменного тока. В результате через обмотку O_1 реле P потечет ток, который вызовет его срабатывание. В результате замкнутся контакты *1* и *2*, которые включают лампу освещения *Л* и электронное реле времени на лампе $Л_2$ (МТХ90).

Пока конденсатор C заряжается до напряжения зажигания лампы $Л_2$, освещение остается включенным. При зажигании лампы $Л_2$ через обмотку O_2 реле P, включенную навстречу обмотке O_1, потечет разрядный ток, контакт *1* снова замкнется с контактом *3*, свет погаснет и электронное реле времени выключится. При очередном прикосновении к одной из ручек дверей, связанных с сеткой лампы $Л_1$, процесс повторяется.

Лампа $Л_1$ зажигается и в случае, когда в подъезд входят уже при включенном свете. В таких случаях при каждом зажигании лампы $Л_1$ происходит как бы сброс предшествующего времени включения освещения, и тем самым исключается возможность оказаться в темноте на полпути. Это достигается за счет индуктивной связи в обмотках O_1 и O_2 электромагнитного реле.

В схеме используется двухпозиционное поляризованное реле с сопротивлением каждой обмотки 8 500 *ом*. Чувствительность устройства можно регулировать с помощью потенциометра R_1. Для увеличения надежности выпрямителя при больших колебаниях температур полезно включить вспомогательный нагрузочный резистор R_3.

Двухпредельный сигнализатор уровня

Устройство рис. 39 состоит из трех блоков: генератора импульсного напряжения ГИМ, датчиков уровня $Д_{макс}$ и $Д_{мин}$ и командного устройства *КУ* для включения исполнительного механизма.

Работа устройства рассматривается на примере поплавковых датчиков уровня жидкости. Однако его можно также применять в сочетании со многими другими индукционными датчиками.

Первичные катушки *А* и *Б* обоих датчиков соединены последовательно и подключены к генератору импульсного напряжения на лампе $Л_1$ типа МТХ90. Первичные (*А* и *Б*) и вторичные (*а* и *б*) катушки датчиков изолированы и располагаются одна над другой. При входе внутрь катушек пермаллоевых поплавков $П_1$ или $П_2$ во вторичных обмотках *а* или *б* индуктируются импульсы большой амплитуды, воздействующей на командное устройство.

Датчики максимального и минимального уровней можно смонтировать на общей стеклянной трубке, сообщающейся с резервуаром, и при этом использовать только один поплавок. Можно также изготовить датчики в виде отдельных узлов.

Генератор импульсов собран по схеме релаксатора, подобной схеме рис. 32. Цепочкой R_2C_1 (рис. 39), связанной с сеткой триода $Л_1$, задается частота импульсов Цепочкой R_3C_2 формируются импульсы для катушек датчиков уровня. Их амплитуда может достигать 100 *в*.

Питание первичных обмоток датчиков импульсами напряжения, разделенными длительными паузами, обеспечивает свободное перемещение поплавка. При питании катушки датчика переменным током легкий поплавок втягивался бы внутрь катушки. Импульсное

питание значительно уменьшает нагревание поплавка вихревыми токами и позволяет обеспечить удобную сигнализацию редкими вспышками

Принцип работы командного устройства следующий. С помощью потенциометра R_7 через диод и зарядный резистор R_6 на конденсатор C_3 подается напряжение, несколько меньшее напряжения зажигания ламп $Л_2$ и $Л_3$. При поступлении, например, на сетку лампы $Л_3$ импульса напряжения со вторичной обмотки катушки датчика

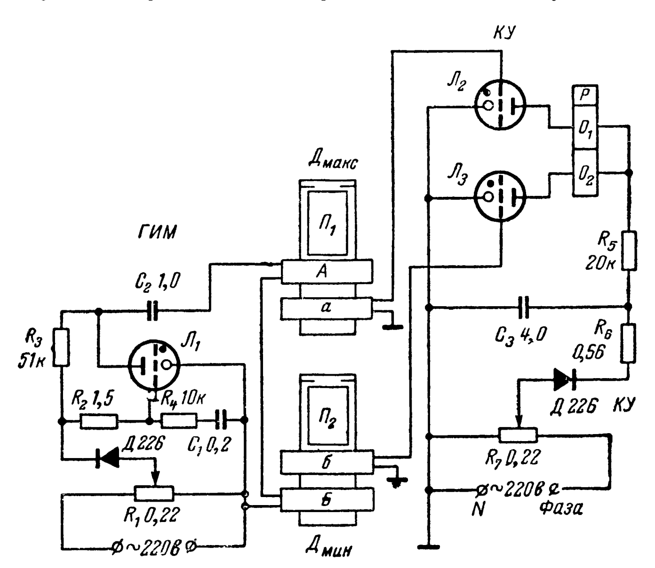


Рис. 39. Электрическая схема двухпредельного регулятора уровня.

$Д_{мин}$ эта лампа зажигается и конденсатор C_3 начинает разряжаться через обмотку O_2 двухобмоточного поляризованного реле (РП-4) и ограничительный резистор R_5. При этом разрядный ток переключит контактную систему реле и включит непосредственно или через промежуточное реле сигнализатор или исполнительный механизм.

В новом положении якорь реле будет находиться до тех пор, пока уровень жидкости не дойдет до максимальной отметки, т. е. пока поплавок $П_1$ не войдет внутрь катушки датчика $Д_{макс}$.

После этого импульсы будут поступать на сетку лампы $Л_2$ и разрядный ток, протекающий через обмотку O_1, переключит контактную систему и подаст соответствующую команду исполнительному механизму.

В качестве световых сигнализаторов могут быть использованы $Л_1$, $Л_2$, $Л_3$. Если мигают лампы $Л_1$ и $Л_2$, то это означает, что резервуар заполнен до максимального уровня, если мигают лампы $Л_1$ и $Л_3$ — в резервуаре минимальный уровень жидкости, а если периодически вспыхивает только одна лампа $Л_1$, то это обозначает, что в резервуаре уровень жидкости нормальный.

При подключении командного устройства необходимо обратить внимание на фазировку и способ подключения сеток ламп. Это исключает возможность протекания паразитных токов в цепях сеток. Если вспышка одной лампы, например $Л_2$, будет вызывать одновременные вспышки второй лампы, необходимо понизить напряжение, снимаемое с потенциометра R_7, или увеличить сопротивление резистора R_5.

Генератор импульсов к электрической изгороди

На рис. 40 приведена схема генератора импульсов высокого напряжения, который включается только в момент прикосновения животных к изгороди. При замыкании ключа *К* конденсатор *С* через резистор *R* заряжается от гальванической батареи $Б_1$ (110—140 *в*). Так как это напряжение меньше напряжения зажигания разрядного промежутка анод — катод триода $Л_1$ (МТХ90), то лампа не зажигается. При прикосновении животного к изгороди анод лампы замыкается с сеткой. Это замыкание осуществляется по цепи: анод — земля — тело животного — изгородь — обмотка повышающего трансформатора—нормально замкнутые контакты *1* и *2* электромагнитного реле *Р* — сетка. В результате напряжение зажигания лампы уменьшается и лампа зажигается.

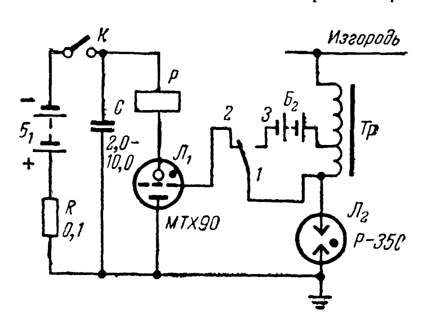


Рис. 40. Схема генератора импульсов к электрической изгороди.

При зажигании лампы конденсатор *С* разряжается через обмотку электромагнитного реле *Р* и оно срабатывает. В результате контакт *1* замыкается с контактом *3* и низковольтная батарея $Б_2$ (6 *в*) подключается к первичной обмотке повышающего трансформатора *Тр*. После кратковременного разряда конденсатора лампа гаснет, замыкаются контакты *1* и *2* и размыкается цепь первичной обмотки трансформатора. При этом в повышающей обмотке трансформатора возникает импульс высокого напряжения, который через провод изгороди и разрядник $Л_2$ (Р-350) подается на тело животного. После заряда конденсатора генератор вновь готов к действию. Если животное все еще находится в соприкосновении с изгородью, то импульс повторяется.

В качестве повышающего трансформатора можно использовать индукционную катушку зажигания типа КМО-1 от мотоцикла, а в качестве реле *Р* — любое реле. При конструктивном оформлении необходимо предусмотреть, чтобы солнечные лучи не попадали на лампу $Л_1$.

Фотореле на фотоэлементе и тиратроне

В фотореле рис. 41 токи фотоэлемента типа ЦГ-3 усиливаются газоразрядным триодом МТХ90.

С делителя напряжения на резисторах R_1 и R_2 на разрядный промежуток анод — катсд лампы *Л* (МТХ90) подается через полупроводниковый диод переменное напряжение порядка 110 *в*. При от-

рицательном полупериоде, соответствующем обратному подключению лампы, разряд в лампе зажигается, но величина тока этого разряда мала и электромагнитное реле не срабатывает. Свечение же газа, наблюдаемое вблизи центрального электрода, сигнализирует о том, что устройство находится под напряжением. При положительном полупериоде, соответствующем нормальному включению лампы, разряд в лампе не зажигается, так как амплитудное значение напряжения на аноде меньше напряжения зажигания лампы.

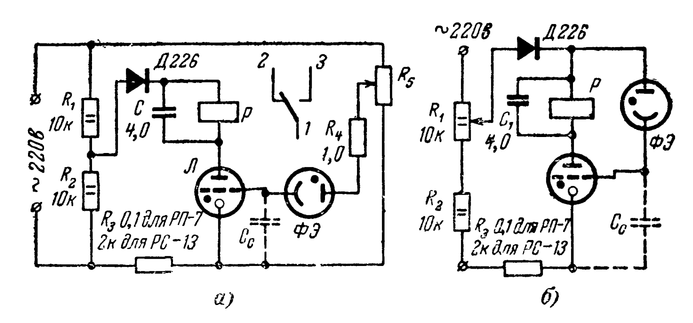


Рис. 41. Схема фотореле с фотоэлементом.

Напряжение на фотоэлементе *ФЭ* берется таким, чтобы при отсутствии контрольного светового сигнала на фотоэлементе лампа при положительном полупериоде не зажигалась.

Однако, как только на фотоэлемент попадает световой сигнал, ток в цепи сетки триода возрастет, лампа будет зажигаться при каждом положительном полупериоде, и электромагнитное реле *Р* сработает, замкнув контакты *1* и *3*. При устранении светового сигнала разряд при положительных полупериодах не зажигается и контакты *1* и *3* реле размыкаются.

В качестве электромагнитного реле в схеме используется поляризованное реле РП-7 или обычное реле типа РС-13. С помощью потенциометра R_5 фотореле легко настраивается на работу при любых световых условиях.

На схеме рис. 41, *б* приведен второй вариант фотореле. Если фотоэлемент затемнен, то сопротивление его велико и ток в цепи сетки недостаточен для зажигания анодного промежутка, однако при освещении фотоэлемента ток в цепи сетки возрастает и лампа зажигается. При этом электромагнитное реле срабатывает.

Для увеличения светочувствительности фотореле можно включить конденсатор *С* емкостью порядка 1 000 *пф*.

Фотореле с фоторезистором

В схеме рис. 42 тиратрон зажигается фоторезистором *ФР*. Сопротивление резистора R_2 берется такого же порядка, как и сопротивление затемненного *ФР*. При этом напряжение на сетке тиратрона получается меньше напряжения зажигания промежутка сетка — катод. При освещении *ФР* его внутреннее сопротивление уменьшается и соотношение сопротивлений плеч делителя *ФР* — R_2 изменяется. В результате напряжение на сетке и ток в ее цепи возрастают,

тиратрон зажигается и реле срабатывает Реле берется типа РС-13 или РП-7.

Если фоторезистор и R_2 поменять местами и подобрать соответствующее значение R_2, то реле будет срабатывать при затемнении *ФР*.

На схеме рис. 43 показано, как можно подобные реле применить для контроля и регулирования. В шкале *А* измерительного прибора имеются прорези O_1 и O_2. На стрелку прибора наклеен легкий флажок *Б*, который перекрывает свет от ламп $Л_3$ и $Л_4$, падающий на фоторезисторы $ФР_1$ и $ФР_2$. При положении стрелки, указанном на рисунке, затемняется $ФС_1$. В результате тиратрон $Л_1$ зажигается и срабатывает реле $Р_1$. Если флажок стрелки затемняет $ФР_2$, то срабатывает реле $Р_2$, а тиратрон $Л_1$ гасится «опрокидывающим» конденсатором *С*.

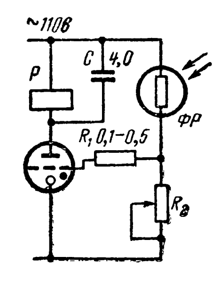


Рис. 42. Фотореле с фоторезистором.

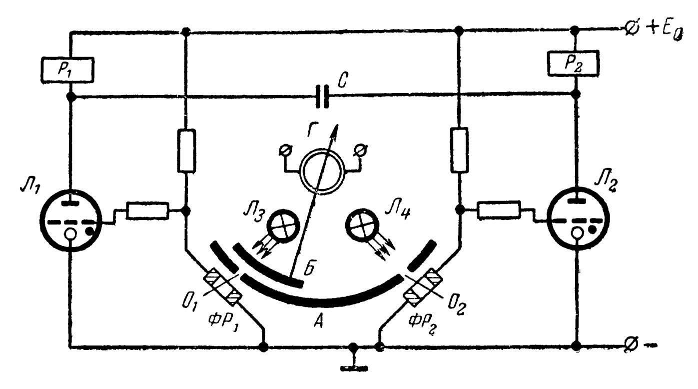


Рис. 43. Схема фотоэлектрического регулятора.

Ионное фотореле

Ионному фотореле свойственно то, что в нем газоразрядная лампа с активированным катодом выполняет одновременно функции светочувствительного элемента и усилителя фототоков. В качестве такой лампы можно использовать лампу МТХ90. Ее светочувствительность можно иллюстрировать графиком рис. 44. Из графика видно, что напряжение зажигания промежутка анод — катод а значительно зависит от светового потока *Ф*, падающего на торец лампы. Наибольшая светочувствительность проявляется только при напряжениях, близких к напряжению зажигания тиратрона в темноте. Если же на лампу подать напряжение на 60—80 *в* ниже, чем напряжение зажигания в темноте, то для зажигания лампы необходимы очень большие световые потоки, и поэтому лампу МТХ90 при таких напряжениях практически можно считать не чувствительной к свету.

Рассмотрим принцип работы ионного фотореле, схема которого изображена на рис. 45. Параллельно конденсатору C, заряжающемуся через резистор R_1, подключены два триода $Л_1$ и $Л_2$ (МТХ90), в катодные цепи которых включены обмотки O_1 и O_2 двухпозиционного поляризованного реле P (РП-4). Резистор R_4 ограничивает ток в лампах.

Затемненная лампа $Л_1$ имеет большее напряжение зажигания по цепи анод — катод, чем лампа $Л_2$, когда последняя также затемнена. С помощью потенциометра R_2 напряжение зажигания лампы $Л_1$ устанавливается ниже напряжения зажигания лампы $Л_2$. Поэтому

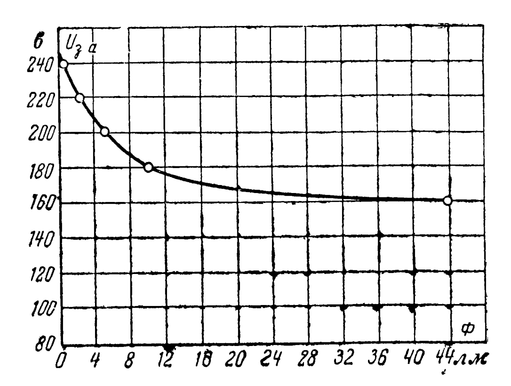


Рис. 44. График зависимости напряжения зажигания анодного промежутка тиратрона МТХ90 от освещенности.

в темноте релаксационные колебания будут иметь место только в цепи лампы $Л_1$.

При освещении лампы $Л_2$ релаксационные колебания в цепи лампы $Л_1$ прекращаются, а в цепи лампы $Л_2$ начинаются, так как ее напряжение зажигания стало меньше, чем у лампы $Л_1$. При первой вспышке лампы $Л_2$ разрядный ток, протекающий по обмотке, перебросит якорь реле и замкнутся контакты *1* и *3*. В таком положении якорь будет находиться все время, пока лампа $Л_2$ будет освещена световым сигналом.

Как только световой поток будет перекрыт, начнутся релаксационные колебания в цепи лампы $Л_1$ и током в обмотке O_1 якорь реле вернется в исходное положение (замкнутся контакты *1* и *2*).

Настройка фотореле сводится лишь к подбору сопротивления резистора R_1, при котором будут происходить релаксационные колебания желаемой частоты, и подбору резистором R_2 соответствующего напряжения зажигания лампы $Л_1$.

Рис. 45. Схема ионного фотореле

Для нормальной работы ионного фотореле необходимо, чтобы при отсутствии светового сигнала освещенность катода лампы $Л_2$ была небольшой, а световой поток сигнала должен быть значительным. Так как активной частью цилиндрического катода МТХ90 является только его внутренняя часть, то световой поток сигнала должен падать почти перпендикулярно торцу лампы.

Светосинхронизатор

Иногда при фотографировании необходимо применить несколько ламп-фотовспышек. При этом необходима синхронизация этих вспышек, т. е. вспышки должны возникать в одно и то же время с точностью до тысячных долей секунды. На рис. 14 приведен очень простой синхронизатор, состоящий из лампы МТХ90 и резистора R_3.

Принцип его действия основан на влиянии света на напряжение зажигания тиратрона МТХ90. Лампу МТХ90 подсоединяют параллельно механическому синхроконтакту *СК* и на нее подают напряжение, близкое к напряжению зажигания. При вспышке другой импульсной лампы лампа МТХ90 зажигается и конденсатор C_2, разряжаясь через нее и первичную обмотку трансформатора, возбуждает импульс, поджигающий дублирующую лампу — фотовспышку.

Для регулирования напряжения на МТХ90 применен переменный резистор R_3, образующий вместе с резистором R_2 делитель напряжения. Плавно перемещая ползунок резистора R_3, увеличивают напряжение на лампе, начиная от нуля, до тех пор, пока не произойдет вспышка лампы МТХ90 и фотовспышка. Затем сопротивление резистора R_3 несколько уменьшают, и на этом настройка заканчивается.

Конструктивно МТХ90 можно заключить в наконечник от авторучки и с помощью специального штепсельного разъема подключать к импульсной лампе. Резистор R_3 можно припаять параллельно лампе МТХ90 и через тот же штепсельный разъем оба элемента подключить к контактам *СК*. «Нацеливание» МТХ90 на нужную лампу позволяет синхронизировать только избранные лампы.

Индикаторы радиоактивного излучения

Схема наиболее простого индикатора приведена на рис. 46 Пока счетчик АММ-13 не подвергается радиоактивному облучению, почти все напряжение батарей оказывается приложенным к его электродам. Это обусловлено тем, что емкость счетчика во много раз меньше, чем суммарная емкость неоновой лампочки $Л_1$ и конденсатора *С*, а постоянное напряжение на конденсаторах, как известно, распределяется обратно пропорционально их емкости (при отсутствии утечки).

При радиоактивном облучении в счетчике возникают импульсы тока, вследствие чего конденсатор *С* заряжается. Емкость конденсатора подобрана так, что через определенное число импульсов напряжение на нем достигает напряжения зажигания неоновой лампочки $Л_1$. При зажигании

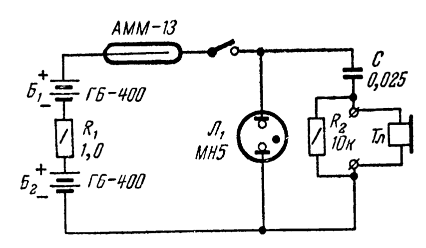


Рис. 46. Индикатор радиоактивного излучения.

лампы $Л_1$ конденсатор разрядится, а в головных телефонах *Т* будет слышен щелчок. Чем больше мощность дозы излучения, тем чаще будет вспыхивать лампочка $Л_1$ и тем чаще будут слышны щелчки в телефонах. Для определения мощности дозы по частоте щелчков для каждого прибора составляется градуировочная таблица.

Ввиду малой величины потребляемого тока один комплект питания обеспечивает непрерывную работу прибора в течение 150 *ч*.

Сигнализатор радиоактивности

Сигнализатор радиоактивности (рис. 47) включает реле только при наличии уровня излучений 150—200 *имп/сек* (на расстоянии 1 *м* от кобальтового источника с активностью порядка 3 *мкюри*).

На сетку тиратрона МТХ90 подано переменное напряжение от обмотки трансформатора с напряжением U_2, равным 60 *в*, но этого напряжения недостаточно для зажигания разряда в лампе.

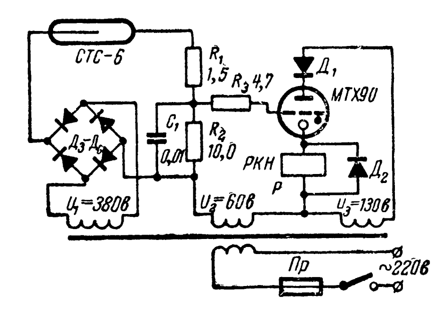


Рис. 47. Сигнализатор радиоактивности.

При отсутствии специального облучения счетчика СТС-6 импульсы фона сглаживаются цепочкой R_1C_1 и создают на нагрузочном резисторе R_2 постоянное добавочное напряжение, подводимое через резистор R_3 к сетке. Однако и в этом случае лампа МТХ90 не зажигается.

При наличии облучения возрастает число импульсов в счетчике, вследствие чего увеличивается и средний ток в нагрузочной цепи. Соответственно возрастают потенциал на сетке и ток в цепи сетки лампы. При достижении этим током величины тока зажигания лампа зажигается и пропускает ток по цепи анод — катод, питающейся от обмотки трансформатора с напряжением U_3, равным 130 *в*. При этом реле *Р* в катодной цепи МТХ90 (типа РКН) срабатывает и включает соответствующие сигнальные устройства.

При прекращении облучения ток в цепи сетки снижается и разряд в лампе гаснет, так как она питается переменным напряжением. При этом контакты реле размыкаются. Диод $Д_1$ ограничивает обратный ток лампы МТХ90.

Триггерные схемы

Триггер является наиболее широко используемым элементом в электронных схемах автоматики и вычислительной техники. Наиболее распространены триггеры с общим резистором в цепи анода и триггеры с «опрокидывающим» конденсатором.

Работа триггера с общим анодным резистором (рис. 48) разбирается на примере применения тиратронов МТХ90, ТХ4Б или ТХ5Б в триодном включении. Принцип работы такого же триггера на тиратронах в тетродном включении аналогичен. Триггер с «опрокидывающим» конденсатором (рис. 49) рассматривается на примере при-

менения тиратрона ТХ3Б в тетродном включении. Обе приведенные схемы могут работать с раздельными входами и с общим (счетным) входом.

Триггер с общим резистором $R_а$ в цепи анода (рис. 48) работает следующим образом. Лампы горят поочередно. Если горит лампа $Л_1$, то катодный конденсатор $C'_к$ заряжен, а $C''_к$ разряжен. Пусковой импульс, появившийся на сетке лампы $Л_2$, зажигает ее. В этот момент в резисторе $R_а$ имеет место резкий скачок тока, возникший

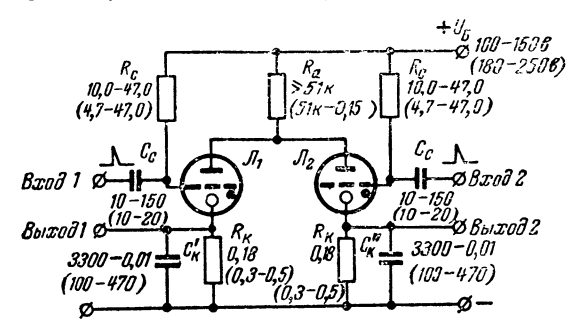


Рис. 48. Триггер с общим резистором в цепи анода.

при зарядке конденсатора $C_к$ через вспыхнувшую лампу $Л_2$. В результате падение напряжения на резисторе $R_а$ мгновенно возрастает, а напряжение $U_а$ на разрядном промежутке анод — катод лампы $Л_1$ соответственно скачком уменьшается (конденсатор $C'_к$ еще не успел разрядиться) и становится меньше напряжения, минимально необходимого для поддержания горения этой лампы. Лампа $Л_1$ гаснет. Лампа $Л_2$ не погаснет, так как конденсатор $C''_к$ не успеет сразу зарядиться и напряжение на лампе будет достаточным для поддержания горения. Лампа $Л_2$ останется зажженной до прихода импульса на первый вход. Аналогично пусковой импульс, поступивший на вход лампы $Л_1$, зажигает ее и при этом гасит лампу $Л_2$.

На рассмотренной схеме в скобках указаны параметры для случая использования тиратрона ТХ4Б в триодном режиме.

Триггер с «опрокидывающим» конденсатором (рис. 49) рассматривается на примере применения тиратрона ТХ3Б в триодном включении. Эта схема, так же как и предыдущая, может работать как с раздельными входами, так и с общим (счетным) входом.

Схема триггера с «опрокидывающим» конденсатором в цепи анода работает так. Пусть горит лампа $Л_1$. «Опрокидывающий» конденсатор $C_а$ будет заряжен до напряжения $U_Б — U_г$, равного падению напряжения на анодном резисторе $R'_а$ проводящей лампы $Л_1$. Появившийся на общем входе пусковой импульс на горящую лампу $Л_1$ не действует, он зажигает лампу $Л_2$. При этом напряжение на аноде лампы $Л_2$ падает от напряжения питания $U_Б$ до напряжения горения $U_г$, т. е. на величину порядка 50 *в*.

Этот скачок напряжения через «опрокидывающий» конденсатор $C_а$ передается на горевшую лампу $Л_1$ и снижает напряжение на последней ниже потенциала горения, и лампа $Л_1$ гаснет. Затем на аноде погашенной лампы напряжение восстанавливается до напряжения батареи, по мере того как конденсатор $C_а$ заряжается через анодный резистор погашенной лампы. Лампа $Л_2$ остается в зажженном состоянии до поступления очередного импульса на вход.

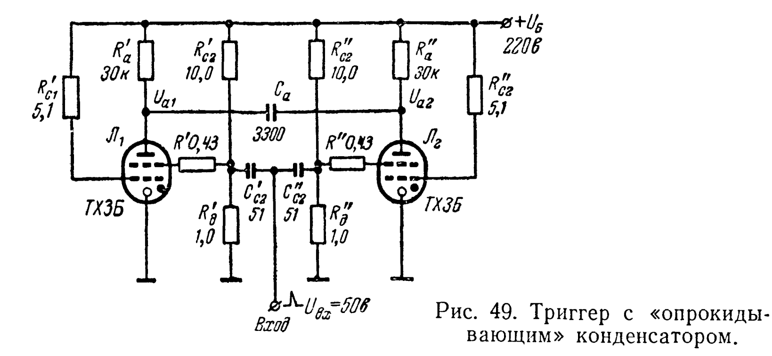


Рис. 49. Триггер с «опрокидывающим» конденсатором.

Назначение других элементов схемы таково. Резисторы $R'_{с2}$ и $R''_{с1}$ ограничивают ток подготовки в цепях первых сеток, а резисторы $R'_{с2}$ и $R'_{д}$, а также $R''_{с2}$ и $R''_{д}$ являются делителями, с помощью которых на вторых сетках тиратронов устанавливается соответствующее запирающее напряжение.

ЛИТЕРАТУРА

Капцов Н. А., Электрические явления в газах и вакууме, Гостехиздат, 1950.

Капцов Н. А., Электроника, Гостехиздат, 1956.

Грановский В. Л., Электрический ток в газе, ГИТТЛ, 1952.

Энгель А., Ионизированные газы, ГИМФЛ, 1959.

Гапонов В. И., Электроника, ч. 1, 2, ГИМФЛ, 1960.

Кораблев Л. Н., Новые применения ламп с холодным катодом в импульсной аппаратуре, Изд-во АН СССР, 1960.

Кораблев Л. Н., Лампы с холодным катодом, Изд-во АН СССР, 1961.

Черевычник Ю. К., Элементарные схемы и функциональные узлы вычислительных машин на лампах с холодным катодом, ВЦ АН СССР, 1960.

Ванин В. П., Чайковский Л. Ф. и Черевычник Ю. К., Модернизация магнитного запоминающего устройства на машине «Стрела-3», ВЦ АН СССР, 1960.

Черевычник Ю. К., Применение логических ламп с холодным катодом в дискретной технике, ВЦ АН СССР, 1962.

Генис А. А., Горнштей И. Л. и Пугач А. Б., Тиратроны с холодным катодом и их применение, Гостехиздат УССР, Киев, 1961.

Актон Д. Р. и Свифт Д. Д., Газоразрядные приборы с холодным катодом, изд-во «Энергия», 1965 (перевод с англ.).

ОГЛАВЛЕНИЕ

Цена 23 коп.